Mineralogie

Morphologie und Struktur von Cerussit und den anderen Mineralien der Aragonitgruppe

---

Inaugural - Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

genehmigt

von der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät

der

Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität zu Bonn

Von

Erich Rottenbach

aus Oberlahnstein.

Bonn 1937

Buchdruckerei Beyer & Hausknecht K.-G., Bielefeld

Berichterstatter: Prof. Dr. K. F. Chudoba

Prof. Dr. H. Cloos.

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

INHALTSÜBERSICHT:

	Seite
I. Einleitung	1
II. Morphologie	2
1. Übersicht der Flächenformen	2
A. Cerussit	2
a) Formenverteilung, Häufigkeits- und Kombinationspersistenzen	3
b) Zwillinge	8
B. Aragonitflächenpersistenzen	12
C. Flächenverteilung bei Strontianit und Witherit	17
D. Gemeinsame Betrachtungen an den vier Mineralien	20
2. Kantenpersistenzen	21
a) Cerussitkanten in Zusammenstellung und Diskussion	21
b) Strontianit- und Witheritkantenpersistenzen	25
III. Struktur	26
1. Das Aragonitgitter	27
Schwerpunktslagen und Gitteraufbau	27
2. Bestimmung der Belastung der Gittergeraden	29
a) Schwerpunktsverteilung innerhalb der identischen Abstände auf den Gittergeraden	31
b) Belastungsverhältnisse unter Berücksichtigung der Abstandslängen identischer Punkte	34
3. Ebenenserien und Belastung	36
a) Theoretische Übersicht und Unterteilung	36
b) Belastungsverhältnisse im identischen Abstand der Ebenen	38
c) Vergleich der Identitätsabstände	44
d) Aufbau der Ebenenserien	46
4. Vergleichende Betrachtungen zwischen Morphologie und Struktur	48
IV. Morphologie und Paragenese	51
1. Morphologische Bemerkungen	51
a) Formenzusammenstellung	51
b) Vermessung der Cerussitkristalle	52
c) Vermessung neuer Formen	54
d) Beobachtung eines besonderen Zwillings	55
2. Paragenetische Darlegungen	57
a) Zusammenstellung der Paragenesen	57
b) Paragenetische Einordnung des Cerussits	60
c) Einiges über Fundortspersistenzen	62
V. Überblick und Zusammenfassung	66
VI. Schrifttumverzeichnis	69

I. EINLEITUNG.

Nach der Entdeckung der Röntgenstrahlen und ihrer erfolgreichen Anwendung bei Kristallstrukturuntersuchungen wurden die allgemeinen Fragen nach dem inneren Aufbau bei den meisten Mineralien grundsätzlich gelöst. Späteren Untersuchungen blieb es dann vorbehalten, die Kräfte und Beziehungen herauszustellen, die den Zusammenhang zwischen dem inneren Aufbau und der äußeren Erscheinungsform der Mineralien bedingen. In der Hauptsache bildeten zählerische Zusammenstellungen der Formen oder durch sie hervorgerufener charakteristischer Ausbildungen in Abhängigkeit vom strukturellen Aufbau die Grundlagen für derartige Aufgaben.

In dieser Weise wurden schon in verschiedenen Arbeiten, welche die bedingte Verknüpfung des äußeren und inneren Aufbaues festlegten, an mehreren Mineralien durchgeführt.

Die vorliegende Arbeit, die ähnliche Zusammenhänge bei einer weiteren Mineralgrappe, nämlich der des Aragonits, herausstellen soll, mag dazu beitragen, daß nach systematischer Untersuchung weiterer geeigneter, wichtiger und charakteristischer Mineralgruppen ein möglichst vollständiges, klares Bild von den Ursachen gegeben werden kann, welche die äußere Erscheinungsform eines Minerals bedingen.

Im Verfolg der wichtigsten Ausbildungen der Mineralien der Aragonitgruppe: Aragonit, Cerussit, Strontianit und Witherit, sollen ihre Beziehungen zur strukturellen Anordnung einerseits und zu den paragenetischen Einflüssen andererseits festgestellt werden. Die Ausbildung der Mineralien wird in der Hauptsache durch Persistenzwertbestimmung sowohl auf Grund eigener Messungen als auch durch Zusammenstellungen aus der Literatur, an Hand der Figuren des Goldschmidt'schen Handatlas der Kristallformen (im Folgenden mit Gdt. Atlas abgekürzt), bestimmt. Die Kristallstruktur und ihre Konstanten für diese Mineralien werden vorausgesetzt; sie stützen sich insbesondere auf die Angaben im Strukturbericht von Zachariasen (6). Auf Grund ihrer Schwerpunktsanordnung sollen hierauf die wichtigsten Bindungen benachbarter Atome oder Atomgruppen zahlenmäßig festgelegt und somit auf einen gemeinsamen Maßstab bezogen werden. Die Bedeutung der paragenetischen Einflüsse wird an mehreren Beispielen bei Cerussit, auch im Vergleich mit den Ergebnissen anderer Autoren, im Einzelnen festgehalten werden.

Durch die gegebenen und festgelegten Voraussetzungen, die die äußere Form eines jeden Kristalls bedingen, bleibt natürlich immer noch eine alle Einzelheiten erfassende, grundlegende Feststellung der durch Zu-

sammenwirkung von Struktur und Paragenese gegebenen Ursachen ihrer Erscheinungsform offen, da viele Zufälligkeiten, die nicht immer offensichtlich sind, bei manchen einen wesentlichen Einfluß haben können.

Herrn Professor Dr. K. F. Chudoba, der mir in freundlicher Weise die Anregung zur Erörterung dieser Fragen gab, sei auch an dieser Stelle hierfür sowie für seine wertvolle Unterstützung bei der Herausstellung vieler besonderer Punkte mein herzlichster Dank ausgesprochen. Seinem steten Interesse verdanke ich manche Förderung. Besonderen Dank bin ich ihm zudem verpflichtet für die Überlassung der zahlreichen Stufen des Museums, denen ich Kristalle zu meinen Messungen entnehmen konnte, und welche die Grundlage der paragenetischen Studien bildeten.

II. MORPHOLOGIE

Die Mineralien Aragonit, Cerussit, Strontianit und Witherit bilden die vier wichtigsten Glieder eines typischen Beispiels von Isomorphie. Schon die äußere Ähnlichkeit läßt auf nähere Verwandtschaft als bloße Gleichheit des Kristallsystems schließen. Sie kristallisieren in der gleichen Raumgruppe und besitzen die gleiche Anordnung im Gitteraufbau.

Ihre Verschiedenheit beruht allein auf Abweichungen in der Länge der Kanten ihres jeweiligen Parallelepipedes und den damit verbundenen geringen Unterschieden in der Lage der Gitterpunkte, welche wiederum die Eigentümlichkeiten dieser Mineralien im äußeren Auftreten bedingen.

Ausgesprochene Mischungsglieder zwischen den unterscheidbaren Endgliedern sind in der Aragonitgruppe nur zum kleinen Teil vorhanden. Oft besitzt der Aragonit einen geringen Gehalt an Strontiumkarbonat; häufiger tritt Aragonit mit einem größeren Bleikarbonatanteil in der Abart des Tarnowitzites auf, den O'Daniel (5) sowohl nach seiner Erscheinungsform als auch nach seinem Chemismus untersucht hat. Umgekehrt enthält Strontianit im allgemeinen größere Mengen von Calcium-carbonat, am meisten in der Abart des Calcostrontianits (Emmonit), dessen Zusammensetzung genauer durch die Formel $(Sr, Ca)CO_3$ ausgedrückt wird. Im Witherit und Cerussit liegen hingegen fast nur die reinen, entsprechenden Metallcarbonate vor, wie insbesondere B. Gossner (Hintze, Handbuch der Mineralogie) angibt. Die Berechnungen können sich daher für diese vorgenannten Mineralien auf eine gleiche strukturelle Grundlage beziehen.

1. Übersicht der Flächenformen

Im Folgenden wird nun die statistische Grundlage zur Ermittlung der beobachtbaren und häufig auftretenden Flächenformen gegeben, um sie dann in einem späteren Abschnitt mit der inneren Struktur in Beziehung setzen zu können.

A. Cerussit.

Unter den genannten Mineralien der Aragonitgruppe ist der Cerussit das bei weitem formenreichste Mineral. Infolgedessen ist gerade bei ihm,

da auf Grund seiner weiten Verbreitung statistische Aufstellungen ergebnisreich sind, die Zusammenstellung im Vergleich mit den strukturellen Eigenschaften des Minerals am interessantesten und daher besonders hervorgehoben worden.

In Goldschmidts Handatlas der Kristallformen sind bei Cerussit 88 verschiedene Flächenformen angegeben. Von diesen wurden 60 Formen an den benutzten Figuren aufgefunden. In Hintzes Handbuch der Mineralogie werden weitere 13 Formen aufgeführt, von denen allerdings 8 als unsicher bezeichnet sind. Die Gesamtzahl erhöht sich damit auf 101 Formen (bezw. auf 93, wenn man die unsicheren Formen nicht mitrechnet). Bei eigenen Messungen wurden dazu noch 16 Formen gemessen. Davon sind zwei Formen, (0.63.1) und (0.30.1), als sehr unsicher zu bezeichnen, da sie nur sehr schwach beobachtet wurden und als Vizinalen anzusehen sind. Weitere 4 Formen, (1,17.0), (1.22.0), (0.1,28) und (0.17.18), können wegen ihrer hohen Indizesziffern ebenfalls als vizinal angesehen werden. Die übrigen 10 Formen, (083), (014), (053), (0.11.1), (1.12.0), (540), (2.11.0), (290), (203) und (251), dürften wohl als gesicherter gelten. Über die Winkelverhältnisse der neu vermessenen Flächenformen gibt ein besonderer Abschnitt Auskunft (S. 104). Die Zahl der beobachteten Cerussitformen erhöht sich somit auf 117 bei Berücksichtigung sämtlicher beobachteten Formen und auf 103 bei bloßer Beachtung der als gesichert erscheinenden Formen.

Die Art der Zusammenstellung der Häufigkeitswerte der einzelnen Formen geschah in der in ähnlichen Arbeiten fast durchwegs angewandten Art unter Bezugnahme auf die Niggli sche Darstellungsweise; es wurden dabei auf Grund systhematischer Auszählungen die Häufigkeits- und Kombinationspersistenzen der Flächenformen bestimmt.

a) Formenverteilung.

Häufigkeits- und Kombinationspersistenzen.

Zur Aufstellung der Statistik der Häufigkeitstabelle der Formen dienten in der Hauptsache die im Gdt. Atlas wiedergegebenen Abbildungen, sowie die aus eigenen Messungen an Kristallen von etwa 30 verschiedenen Stufen erhaltenen Ergebnisse. Die Tabelle I gibt die zahlenmäßigen Werte in geordneter Reihenfolge wieder.

Tabelle I.

Häufigkeits- und Kombinationspersistenzen der Cerussitformen.

Indizes	Häufigkeitspersistenzen				Kombinationspersistenzen		
	aus Gdt.	eig.	Mitt.	Hubr.	Gdt.	eig.	Mittel
110	92,2	95	93	93,5	90	95	92
010	91,8	95	92	89,3	88	95	89
111	87	90	87	92,5	88	90	87
021	66	90	68	69,8	64	90	67
012	50	79	52	48,8	53	79	57
011	45	51	46	50,3	52	51	52

Indizes	Häufigkeitspersistenzen				Kombinationspersistenzen		
	aus Gdt.	eig.	Mitt.	Hubr.	Gdt.	eig.	Mittel
130	43	83	47	48	51	83	56
100	39	67	42	41	44	67	47
001	37	26	36	44	43	26	41
102	34	40	34	31,8	45	40	44
112	17	31	18	17,3	24	31	25
031	15	49	19	15,8	21	49	25
121	10	14	10	9,3	14	14	14
041	8,2	43	11	7,5	12	43	16
211	5,8	12	6	7,5	8,2	12	8,6
113	5,8	—	5	6,3	8,5	—	7,7
051	4,1	29	6	4	6,2	29	9,3
061	2,7	9	3	1,8	4,1	9	4,8
131	2,4	—	2,2	0,8	3,7	—	3,2
101	2,2	—	2,0	2,3	3,3	—	3
023	1,7	—	1,5	1,3	2,5	—	3
071	1,4	9	2,2	0,8	2,2	9	3,2
302	1,4	—	1,3	1,3	2,2	—	2
120	1,2	5	1,5	1,3	1,9	5	2,2
331	1,2	—	1,1	1	1,9	—	1,6
201	1,0	—	0,9	1,8	1,5	—	1,3
114	0,7	—	0,7	1,8	1,1	—	1,0
221	0,7	2	0,9	1,5	1,1	—	1,3
134	0,7	—	0,7	0,5	1,1	—	1
103	0,7	—	0,7	0,8	1,1	—	1
324	0,7	—	0,7	0,3	1,1	—	1
562	0,5	—	0,4	0,3	0,7	—	0,6
091	0,5	2	0,7	0,8	0,7	2	1
352	0,5	—	0,4	0,5	0,7	—	0,6
313	0,5	—	0,4	0,3	0,7	—	0,6
377	0,5	—	0,4	0,3	0,4	—	0,3
081	0,5	7	1,1	1,0	0,7	7	1,6
0.11.2	0,5	—	0,4	—	0,7	—	0,6
322	0,5	2	0,7	0,3	0,7	2	1
032	0,5	5	0,9	1,3	0,7	5	1,3
083	—	5	0,4	—	—	5	0,6
014	—	5	0,4	—	—	5	0,6
053	—	9	0,9	—	—	9	1,3
0.11.1	—	5	0,4	—	—	5	0,6
052	—	5	0,4	0,3	—	5	0,6
342	0,2	—	0,2	0,3	0,4	—	0,3
013	0,2	2	0,4	1,5	0,4	2	0,2
394	0,2	—	0,2	0,3	0,4	—	0,3
173	0,2	—	0,2	0,3	0,4	—	0,3
311	0,2	—	0,2	0,3	0,4	—	0,3
351	0,2	—	0,2	0,3	0,4	—	0,3
180	0,2	2	0,4	0,5	0,4	2	0,6
122	0,2	—	0,2	0,8	0,2	—	0,3
170	0,2	2	0,5	0,3	0,2	2	0,6
161	0,2	—	0,2	0,3	0,2	—	0,3
441	0,2	2	0,5	0,3	0,2	2	0,6
171	0,2	—	0,2	0,3	0,2	—	0,3
025	0,2	2	0,5	0,3	0,2	2	0,6
210	0,2	—	0,2	0,3	0,2	—	0,3
530	0,2	—	0,2	1,5	0,2	—	0,3

Indizes	Häufigkeitspersistenzen				Kombinationspersistenzen		
	aus Gdt.	eig.	Mitt.	Hubr.	Gdt.	eig.	Mittel
304	0,2	—	0,2	0,3	0,2	—	0,3
0.25.4	0,2	2	0,5	0,3	0,2	2	0,6
350	0,2	—	0,2	0,5	0,2	—	0,3
0.14.1	0,2	—	0,2	0,3	0,2	—	0,3
14.14.1	0,2	—	0,2	0,5	0,2	—	0,3
1.17.0	—	2	0,2	—	—	2	0,3
1.22.0	—	2	0,2	—	—	2	0,3
034	—	2	0,2	0,3	—	2	0,3
540	—	2	0,2	—	—	2	0,3
0.13.1	—	2	0,2	0,5	—	2	0,3
0.1.28	—	2	0,2	—	—	2	0,3
2.11.0	—	2	0,2	—	—	2	0,3
150	—	2	0,2	0,3	—	2	0,3
380	—	2	0,2	0,3	—	2	0,3
1.12.0	—	2	0,2	—	—	2	0,3
0.17.18	—	2	0,2	—	—	2	0,3
0.63.1	—	2	0,2	—	—	2	0,3
0.30.1	—	2	0,2	—	—	2	0,3
290	—	2	0,2	—	—	2	0,3
203	—	2	0,2	—	—	2	0,3
054	—	2	0,2	0,3	—	2	0,3
251	—	2	0,2	—	—	2	0,3
310	—	—	—	0,3	—	—	—
016	—	—	—	0,3	—	—	—
087	—	—	—	0,3	—	—	—
076	—	—	—	0,3	—	—	—
0.10.1	—	—	—	0,3	—	—	—
0.22.1	—	—	—	0,3	—	—	—
0.29.1	—	—	—	0,3	—	—	—
0.33.1	—	—	—	0,3	—	—	—
105	—	—	—	0,3	—	—	—
104	—	—	—	0,3	—	—	—
354	—	—	—	0,3	—	—	—
323	—	—	—	0,3	—	—	—
133	—	—	—	0,5	—	—	—
11.13.1	—	—	—	0,3	—	—	—
154	—	—	—	0,3	—	—	—
095	—	—	—	—	—	—	—
072	—	—	—	—	—	—	—
0.13.2	—	—	—	—	—	—	—
0.25.1	—	—	—	—	—	—	—
332	—	—	—	—	—	—	—
285	—	—	—	—	—	—	—
132	—	—	—	—	—	—	—
besonders berechnet wurden:							
021	77	90	79	—	—	—	—
012							
Okl	87	92	89	—	—	—	—
in Hintze's Handbuch der Mineralogie sind folgende weiteren Formen angeführt:							
4.86.45	—	—	—	0,3	—	—	—
0.37.1	—	—	—	0,3	—	—	—

0.12.1 / 833 / 607 / 5.8.14 / 0.11.10 / 0.29.4 / 8.25.0 / 1.10.0 / 1.23.0 / 1.31.0 / 124.

In der ersten Spaltenreihe sind die Indizes der einzelnen Flächenformen, geordnet nach der Größe der Häufigkeitspersistenzen, wiedergegeben. Um einen sicheren Überblick über die Beständigkeit der Formen zu erhalten, wurden auch ihre Kombinationspersistenzen, die Zahlen der Häufigkeit der Formen in den einzelnen verschiedenen Kombinationen, zusammengestellt.. Sie sind in der nächsten Spaltenreihe zur Darstellung gekommen. Es wurde jeweils eine Spalte für die Ergebnisse aus den Abbildungen des Gdt. Atlas und eine für die aus eigenen Messungen eingeräumt; die dritte Spalte enthält dann die Durchschnittswerte, bezogen auf die Gesamtsumme der beobachteten Kristallindividuen, während bei den Häufigkeitspersistenzen zum Vergleich noch die Ergebnisse der Arbeit von Hubrecht (8) in der vierten Spalte angeführt sind [1]).

Die Formen wurden ihrer Wichtigkeit nach, der Niggli'schen Darstellungsweise folgend, in 1. charakteristische Leitformen, 2. charakteristische Nebenleitformen, 3. charakteristische Spezialformen, 4. charakteristische Ergänzungsformen und 5. in individuelle Formen untergeteilt.

Was die Zahl der zu den einzelnen Gruppen gehörigen Formen anbelangt, so ergibt sich bei den Häufigkeitspersistenzen des Cerussits eine ziemlich gleichmäßige Einteilung. Die Abbildung 1 gibt in graphischer Darstellung ein übersichtliches Bild dieser Verhältnisse. Sie ist dargestellt für die Häufigkeitspersistenzen aus Spalte 3 aus der Tabelle I.

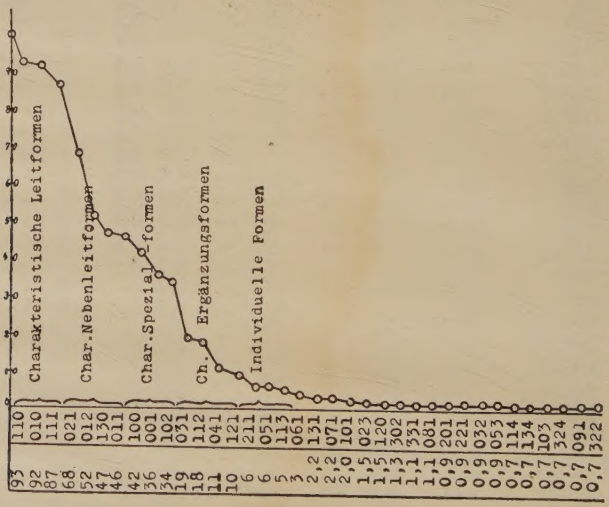


Abbildung 1. Häufigkeits-persistenzen der Cerussitformen.

[1]) Die Zusammenstellung der Häufigkeitspersistenzen aus dem Gdt. Atlas hätte insofern vielleicht unterbleiben können, als Hubrecht, der im Institut von Goldschmidt in Heidelberg arbeitete, wahrscheinlich in der Hauptsache das Literaturmaterial verwendete, das in dem Atlas veröffentlicht ist. Bei der großen Ähnlichkeit der Ergebnisse gibt jedoch die neuere Arbeit eine gute Bestätigung der von Hubrecht aufgestellten Tabelle.

Zu den charakteristischen Leitformen gehören die Längsfläche (010) und das Vertikalprisma (110) mit fast gleicher Häufigkeit sowie die Pyramide (111). An dieser Stelle sei wiederholt, daß in der Literatur besonders häufig Stücke mit außergewöhnlichen Formen beschrieben werden; dadurch wird die Wichtigkeit der Leitformen eines Minerals meistens herabgedrückt, die der unbedeutenderen Formen aber im Durchschnitt gehoben, wie es bereits von W. Schilly (18), a. a. O. betont wurde.

Bei flüchtiger Betrachtung einer Stufe mit Cerussit würde man stets zu der Meinung kommen, daß eine der Formen (Okl), die fast stets vertreten sind, ebenfalls zu den Leitformen gehören müßten. Die drei wichtigsten Längsprismenformen (021), (012) und (011) gehören aber bereits der Gruppe der Nebenleitformen mit 68, 52 bezw. 46% ihres Häufigkeitswertes an. Hierbei wird man leicht zu der Vermutung gedrängt, was schon bei anderen Autoren in ähnlichen Fällen beobachtet wurde, daß durch die Ähnlichkeit bestimmter Formen manchmal eine gewisse Vertretbarkeit zu verzeichnen ist. So macht es die Beobachtung wahrscheinlich, daß die beiden Flächenformen (021) und (012), die sehr oft nebeneinander vorkommen, durch die Form (011) gewissermaßen „vertreten" werden, indem diese, wenn sie auch oft in Kombination mit einer oder auch beiden übrigen Formen zusammen beobachtet wurden, als einzige der drei genannten Längsprismenformen an einem Kristall auftritt.

Zur Feststellung dieser Verhältnisse wurde eine besondere Untersuchung durchgeführt. Um die Bedeutung der genannten drei Flächenformen (021), (011) und (012) für den Habitus des Cerussits zahlenmäßig darzulegen, erfolgte die Persistenzwertbestimmung auch für diese drei Flächenformen gemeinsam, indem festgestellt wurde, in wieviel von Hundert Fällen überhaupt eine (mindestens eine) der drei habitusbeherrschenden Längsprismenformen an den verschiedenen Kristallen, bezw. an ihren verschiedenen Kombinationen der Kristalle auftrat.

Während dieser bestimmte Persistenzwert für (021) und (012) gemeinsam mit 79% nicht allzuviel höher liegt als der Wert für (021) allein, nimmt die Persistenzzahl für (021), (012) und (011) zusammen mit 87% und erst recht die Persistenzzahl für alle Formen (Okl) mit 89% bereits den dritten Platz unter den charakteristischen Leitformen ein. Auch die Ähnlichkeit dieser Formen in Bezug auf ihre strukturelle Wichtigkeit, wie in dem späteren Abschnitt dieser Arbeit dargelegt wird, spricht dafür.

Als weitere charakteristische Nebenleitformen treten (130) und (100) auf. Sie unterscheiden sich nur wenig in den Persistenzwerten von denen der Spezialformen, die auch untereinander ziemlich nahe liegen. Über die weitere Formenverteilung geben Tabelle I und Abbildung 1 übersichtlicher Auskunft, als dieses im Text dargelegt werden kann.

Was die Kombinationspersistenzwerte anbelangt, so zeigt die Abbildung 2, daß gegenüber der Häufigkeitspersistenz nur verhältnismäßig geringe Verschiebungen eingetreten sind. Die Kristallindividuen, an denen

die eigenen Messungen durchgeführt wurden, wiesen sämtlich verschiedene Kombinationen auf. Beim Vergleich der Kombinationen, die an Hand der Figuren des Gdt. Atlas zusammengestellt wurden, erwies sich, daß unter den Kombinationen der 412 benutzten Kristallbilder etwa ein Drittel mehrfach vorhanden war, so daß sich daraus 271 verschiedene Kombinationen

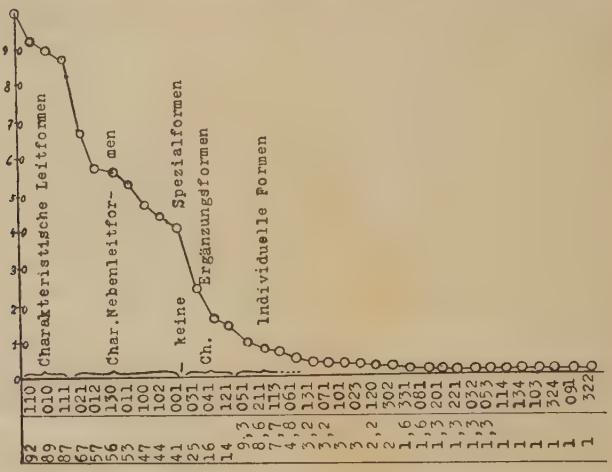


Abbildung 2. Kombinationspersistenzen der Cerrussitformen.

ergaben. Es leuchtet natürlich ein, daß dadurch die Bedeutung der wichtigen Formen noch geringer wird, während die seltener auftretenden, sowie die individuellen Formen, die vielfach nur ein- bis zweimal beobachtet wurden, und in den Kombenationen meist ebensooft vertreten sind, in ihrem prozentualen Wert steigen werden. Dieses bringt die Abbildung 2 gut zum Ausdruck. Der Unterschied gegenüber der Abbildung 1 kommt besonders dadurch zum Vorschein, daß hier gar keine Spezialformen mehr vorhanden sind. Die vorher als solche bezeichneten sind jetzt sämtlich zu Nebenleitformen geworden. Dadurch wird eine deutliche Grenze zwischen den nach der Wichtigkeit unterteilten Gruppen der Formen erhalten. Trotzdem bleiben sich die beiden graphischen Darstellungen der Persistenzwerte in ihrem Gesamtverlauf ziemlich ähnlich.

b) Zwillinge.

Es ist bekannt, daß manche Mineralien, die auf Grund ihrer Struktur eine Zwillingsbildung zulassen und diese häufig zeigen, dadurch sehr oft nicht nur in der Tracht, sondern auch im Habitus stark beeinflußt werden.

Im Folgenden wird nun auf die Persistenzen der Zwillinge, insbesondere im Vergleich mit denjenigen der insgesamt beobachteten Kristalle hingewiesen. Unter den 412 aus dem Gdt. Atlas entnommenen Figuren der Cerussitkristalle waren nur 129 Zwillinge verzeichnet. Unter ihnen konnte an 84 Kristallbildern die Fläche (110) als Zwillingsebene festgestellt

werden. Bei einigen Zwillingen ist die Lage der Zwillingsebene nicht zu ersehen, da das zweite vorkommende Zwillingsgesetz, das am Cerussit festgestellt wurde, die Fläche (130) zur Zwillingsebene hat, in seinen Winkelverhältnissen, besonders bei Betrachtung der Verwachsungsebene, die oft senkrecht zur Zwillingsebene steht, nur um wenige Grade von dem ersteren abweicht. Die übrigen Kristalle sind nach diesem Gesetz nach (130) verzwillingt.

Bei den eigenen Messungen konnte dieses letztere Zwillingsgesetz nicht mit Sicherheit nachgewiesen werden, da vielfach abgebrochene Teilindividuen für die genauen Einmessungen der Flächen verwandt werden mußten.

Der weitaus größere Teil der benutzten Kristallindividuen bestand aus Zwillingsteilkristallen, da nur wenige Fundorte öfters Einlinge zeigten. Bei manchen von ihnen ist aber bei dichter Parallelverwachsung eine Verzwillingung nicht ausgeschlossen, die bei größeren, nebeneinanderstehenden Individuen nicht in Erscheinung tritt und infolge der schlechten Meßbarkeit der am Muttergestein angewachsenen Kristallseiten meßtechnisch nicht feststellbar ist. Die große Zahl der Einlinge unter den Abbildungen der Literatur, die im Gdt. Atlas gesammelt wiedergegeben werden, ist vielleicht damit zu erklären, daß viele Abbildungen idealisierte Darstellungen der Kristalle mit den jeweils beobachteten Flächenformen sind.

Beim Vergleich der Ausbildungen der Zwillingsteilkristalle und der Einlinge konnte, wie bereits K. Chudoba (2) mitteilte, „die Erscheinung, daß den Zwillingstrachten eine größere Beharrlichkeit zukommt, daß eine kleinere Zahl von Flächen an einfachen Zwillingen beobachtet wird als an Einzelkristallen, die auch eine zahlenmäßig kleinere Kombinationsmöglichkeit untereinander geben, an den meisten, sich verzwillingenden Kristallen“ grundsätzlich beobachtet werden. Die Reduzierung der Flächenzahlen, die an den dem Gdt. Atlas entnommenen Kristallfiguren der Zwillinge gegenüber denen der Einlinge festgestellt werden konnte, war recht bedeutend. Die Abbildung 3 gibt die Flächenpersistenzen der Cerussitzwillinge wieder.

Die Bedeutung der charakteristischen Leitformen ist noch größer geworden, als es schon bei den Einlingen der Fall war. Ihr zahlenmäßiger Abstand in die Höhe ihres Persistenzwertes von den nächsten Formen ist recht auffallend. Flächenärmere Kristalle mit fast durchgängiger Ausbildung der Formen (010), (110) und (111) mit untergeordneter Bedeutung der übrigen Formen herrschen vor.

Unter den charakteristischen Nebenleitformen sind nur noch (012) und (021) vertreten. Ihre Persistenzzahl ist mit 55 bzw. 43 recht niedrig. Im weiteren Verlauf bleibt die Darstellung der Zwillingspersistenzen ziemlich flach, und mit ihren Werten im allgemeinen unterhalb der entsprechenden Kurve an den überhaupt beobachteten Kristallen. Die Zahl der hierbei festgestellten, beteiligten Formen ist nur wenig höher als die

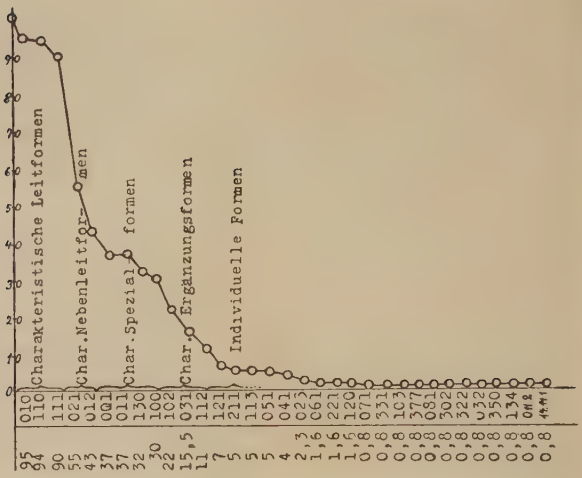


Abbildung 3.
Häufigkeitspersistenzen der Formen an Cerussitzwillingen.

Hälfte der insgesamt am gleichen Untersuchungsmaterial festgestellten Formen.

Diese starke Differenz läßt sich natürlich noch zum Teil mit der schon vorbenannten, teilweisen Idealisierung der Kristallbilder erklären, indem Zwillingskristalle, die vermessen und in der Literatur beschrieben wurden, der größeren Anschaulichkeit wegen in den Abbildungen als Einlinge dargestellt sind. Das trägt dazu bei, daß für die Durchführung dieser Zusammenstellung wesentlich weniger Material zur Verfügung stand. Trotzdem ist die Formenreduzierung ziemlich bedeutend. Eine Verteilung der dabei betroffenen Formen auf eine bestimmte Gruppe von Formen oder eine bestimmte Zone konnte nicht festgestellt werden. Sie macht sich dieserhalb selbstverständlich auch am meisten bei den flächenreichen Prismenzonen bemerkbar. Die Verminderung tritt allerdings ebenso bei der Zahl der Pyramidenformen in Erscheinung. Umgekehrt wurden auch einige wenige Individualformen nur an Zwillingen beobachtet.

Im allgemeinen sind die Teilkristalle der Zwillinge sehr gut ausgebildet, da sie sehr oft eine Streckung nach der a-Achse aufweisen. Hierdurch ist das in Richtung der a-Achse gesehene Kopfbild sehr vollkommen ausgebildet, indem dieser Teil des Kristalls bei entsprechender Streckung aus der Zwillings- oder Viellingsgruppe frei herausragt. Nur selten weist die Tracht bei einem abgebrochenen Stück darauf hin, daß es sich um einen Zwillingsteilkristall handelt, wie etwa bei solchen Stücken, die eine starke Abplattung nach der Fläche (010) aufweisen, wie sie bei sternförmigen Drillingen häufig ist. Man kann daher in vielen Fällen bei einem solchen Bruchstück nicht auf seine Bildung als Einling oder Zwillingsteilkristall rückschließen.

Die Formenverminderung der Zwillingskristalle läßt sich auch aus der Zahl der Kombinationen, wie sie im Folgenden für die Kristalle nach der Anzahl ihrer Formen zusammengestellt ist, entnehmen.

Um einmal Durchschnittswerte für die Zahl der Flächenformen an den Kristallen des Cerussits, der nicht nur wegen seines Formenreichtums überhaupt, sondern auch wegen seiner habituellen Ausbildung als recht formen- und flächenreich gilt, aufstellen zu können, wurden für die angetroffenen Kombinationen diese jeweils nach der Zahl der beteiligten Flächenformen geordnet und zusammengestellt. Die Abbildung 4 veranschaulicht in der Darstellung dreier Kurven, getrennt für Einlinge, Zwillinge und Gesamtkristalle, die Häufigkeit ihres Auftretens in mehr oder weniger formenreichen Kristallen.

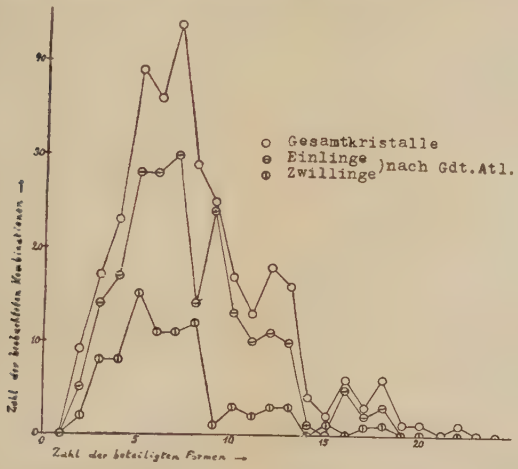


Abbildung 4. Häufigkeit der Flächenformenkombinationen bei Cerussit nach der Zahl der Formen.

Aus der Übersicht ergibt sich für die Kristalle mit 7 Flächenformen die größte Variationsbreite der Formenkombinationen. Kristalle mit höherer Formenzahl sind viel seltener. Das beweist die abnehmende Kombinationenzahl, obwohl durch die stärkere Beteiligung individueller Formen die Zahl der Möglichkeiten größer wird. Kombinationen mit 8 bis 13 Formen sind jedoch noch recht häufig, während solche mit 14 bis 20 Formen bereits spärlich vertreten sind. Die formenreichste Kombination an den goniometrisch gemessenen Kristallen zeigte 22 Formen an einem Kristall von Friedrichsegen. Davon waren zwei Formen nur als Begrenzung einer Riefung zu beobachten. Hubrecht (8) führt in seiner Zusammenstellung eine Kombination von 23 Formen (nach Seligmann) vom gleichen Fundort sowie eine solche von 28 Formen (nach Mügge) von Cordoba an. Derartig flächenreiche Ausbildungen stellen aber wohl nur eine ausnahmsweise Seltenheit dar.

Umgekehrt verhält es sich mit den Kristallausbildungen mit weniger als 7 Formen. Solche Kombinationen sind zwar bei der Aufstellung ihrer

Häufigkeitspersistenz [2]) sehr zahlreich vertreten, verringern sich aber nach der Trennung nach Kombinationsverschiedenheiten sehr stark. Insbesondere solche Kombinationen von 3 und 4 Formen wiederholen sich sehr oft, da hierbei fast stets nur die persistentesten Formen beteiligt sind. Auch die oft vermessenen, dendritenförmigen Wachstumsformen sind recht flächenarm.

Die Kurve der Kombinationen bei den Einlingen ist der Kurve der Gesamtkristalle sehr weit angeglichen, zeigt aber für 8 Formen ein auffallendes relatives Minimum, das jedoch durch das nochmalige starke Ansteigen der Kurve bei 9 Formen wieder ausgeglichen zu werden scheint.

Bei den Zwillingen sind die formenreichen Kombenationen weniger zahlreich. Am häufigsten wurden solche mit 5 Flächenformen beobachtet, aber auch Kombinationen bis zu 8 Formen sind noch recht häufig. Erst hier fällt die Kurve steil ab. Zudem zeigte der Vergleich mit den Häufigkeitspersistenzen [3]) der Kombinationen, daß besonders solche mit 6 Formen sich sehr oft wiederholten, so daß als durchschnittlicher Zwillingshabitus eine Kombination mit sechs Formen (darunter fast stets die drei höchstpersistenten Formen) angesprochen werden kann.

B. Aragonitflächenpersistenzen.

Um eine günstige Nebeneinanderstellung und Vergleichbarkeit der einleitend genannten Mineralien durchzuführen, wurden auch bei Aragonit, der nach Cerussit das verbreitetste Mineral der behandelten Gruppe darstellt, die gleichen Persistenzen wie bei Cerussit aufgestellt.

Wie die folgenden Zusammenstellungen zeigen, ist die Verschiedenheit gegenüber dem Cerussit verhältnismäßig gering, obgleich man auf Grund der Belastungsverhältnisse, wie sie in einem späteren Abschnitt dargelegt werden, annehmen könnte, daß der Aragonit, der dort die größte Abweichung gegenüber dem Cerussit zeigt, auch in seiner habituellen Ausbildung größere Verschiedenheiten zeigen würde.

In der Reihenfolge der Bedeutung der Flächenformen herrscht große Ähnlichkeit. Die angegebene Tabelle II läßt den Vergleich mit der entsprechenden Tabelle der Cerussitformen zu.

Tabelle II.

Häufigkeitspersistenzen der Aragonitformen.

Indizes	Häufigkeitspersistenzen a)	b)	c)	Indizes	Häufigkeitspersistenzen a)	b)	c)
110	89	98	91,4	540	—	8	1,8
010	73	94	73,2	013	1.8	—	1,4
011	76	18	62,7	102	1,8	—	1,4

[2]) Diese sind in der Arbeit nicht mit angeführt, da sie für die weiteren Feststellungen ohne Belang sind. Die graphische Darstellung kann ebenfalls nichts Neues besagen, da außer den textlich erwähnten Unterschieden keine Besonderheiten auftreten.

[3]) Vergl. Anm. 2.

Indizes	Häufigkeitspersistenzen a)	b)	c)
111	39	18	34,1
012	18	—	27,7
001	22	—	16,7
021	18	10	15,9
121	19	—	15.0
122	11	—	8,2
112	8,2	6	7,7
031	8,8	2	7,3
552	8,2	—	6,4
061	8,2	—	6,4
041	5,9	—	4,5
661	4,7	—	3,6
160	—	16	3,6
101	4,1	—	3,6
051	2,9	—	2,3
0.12.1	2,9	—	2,3
243	2,9	—	2,3
091	2,9	—	2,3
991	2,4	—	1,8
25.27.2	2,4	—	1,8
25.27.24	2,4	—	1,8
0.20.1	2,4	—	1,8
140	—	8	1,8
881	1,2	—	0,9
332	0,6	—	0,5
10.10.1	0,6	—	0,5
24.24.1	0,6	—	0,5
11.11.1	0,6	—	0,5
151	0,6	—	0,5
0.42.19	0,6	—	0,5
25.34.0	0,6	—	0,5
25.32.0	0,6	—	0,5
25.21.0	0,6	—	0,5
25.24.0	0,6	—	0,5
50.37.0	0,6	—	0,5
0.27.1	0,6	—	0,5
304	0,6	—	0,5
023	0,6	—	0,5
0.18.1	0,6	—	0,5
0.13.1	0,6	—	0,5

Indizes	Häufigkeitspersistenzen a)	b)	c)
123	1,2	2	1,4
0.16.1	1,8	—	1,4
0.24.1	1,8	—	1,4
120	—	6	1,4
970	—	6	1,4
310	—	6	1,4
350	—	6	1,4
551	0,6	4	1,4
100	0,6	2	0,9
053	1,2	—	0,9
201	1,2	—	0,9
124	1,2	—	0,9
425	1,2	—	0,9
215	1,2	—	0,9
126	1,2	—	0,9
032	0,6	2	0,9
12.12.1	1,2	—	0,9
45.45.2	1,2	—	0,9
362	1,2	—	0,9
650	1,2	—	0,9
11.15.0	1,2	—	0,9
0.45.2	1,2	—	0,9
071	1,2	—	0,9
131	0,6	—	0,5
072	0,6	—	0,5
0.35.1	0,6	—	0,5
0.14.1	0,6	—	0,5
052	0,6	—	0,5
0.11.3	0,6	—	0,5
0.30.1	0,6	—	0,5
0.10.1	0,6	—	0,5
0.32.1	0,6	—	0,5
771	0,6	—	0,5
223	0,6	—	0,5
334	—	2	0,5
331	—	2	0,5
150	—	2	0,5
4.13.0	—	2	0,5
570	—	—	0,5

Weitere Formen des Aragonits, die in den betrachteten Kombinationen nicht vorhanden waren, entnommen Gdt. Atlas:

430	760	17.16.0	20.21.0	13.14.0	9.11.0
450	570	13.19.0	580	0.20.19	0.11.10
076	0.11.9	043	0.11.8	0.19.11	0.11.6
0.15.8	0.19.10	0.23.10	073	0.23.9	0.16.5
0.23.7	0.24.7	0.13.3	092	0.13.2	0.15.2
081	0.17.2	0.11.1	0.17.1	0.19.1	0.21.1
0.23.1	0.25.1	0.26.1	0.29.1	0.40.1	114
441	13.13.2	21.21.2	14.14.1	20.20.1	21.21.1
24.24.1	133	255	231	271	342
9.10.0	50.52.0	11.13.0	132	512	341
431	413	14.20.5	10.12.3	3.2.12	561

32.35.7	125	24.33.4	12.17.2	9.12.2	40.42.7
48.49.7	158	9.2.16	16.22.1	24.25.1	352
572	7.10.3	8.11.3	11.14.3	16.17.3	9.13.4
11.15.4	15.11.4	12.17.5	19.27.5	23.31.5	17.25.8
28.40.9	104.112.21.				

Auffälliger als in der Tabelle zeigt sich der Unterschied gegenüber dem Cerussit bei der Betrachtung der graphischen Darstellungen, welche die Persistenzen veranschaulichen. Der Verlauf der Aragonitpersistenzen beginnt bedeutend steiler, um nachher umso flacher zu verlaufen, wie dies in der Abbildung 5 dargestellt ist. Hier läßt sich außerdem die Verschiebung in der Formenbedeutung gut feststellen.

Die beiden wichtigsten Formen des Cerussits, (100) und (010), sind auch hier die wichtigsten und stellen die beiden einzigen charakteristischen Leitformen dar. Die Form (111), die dritte charakteristische Leitform des Cerussits, erscheint beim Aragonit an vierter Stelle, und zwar schon un-

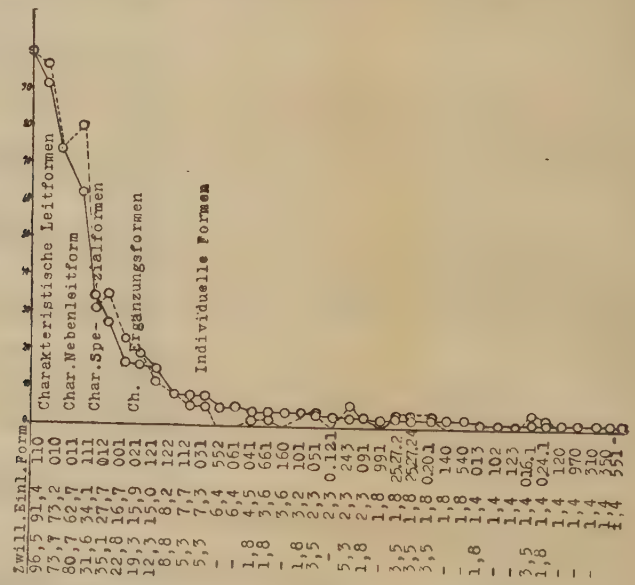


Abbildung 5. Häufigkeitspersistenzen der Aragonitflächenformen ———, sowie auch der Zwillinge — —.

ter den Spezialformen. Die beiden Formen (012) und (021), die wichtigsten Formen des Cerussits in der Längsprismenzone, folgen kurz darauf unter den charakteristischen Spezial- bezw. Ergänzungsformen. An ihrer Stelle (eine mögliche Vertretbarkeit bestimmter Formen wurde bereits bei Cerussit erwogen) ist die Form (011) an die dritte Stelle der Persistenzen aufgerückt und stellt die einzige charakteristische Nebenleitform des Aragonits dar. Für die Aragonitzwillinge, die später noch erwähnt werden, ist sie sogar noch eine ch. Leitform.

Sehr auffällig bleibt aber die Tatsache, daß die Form (130), die bei Cerussit ebenfalls noch zu den Nebenleitformen gehörte sowie auch als Zwillingsfläche eine nicht unerhebliche Rolle spielte, beim Aragonit überhaupt nicht beobachtet wurde. Sie wurde in keiner der angeführten Literatur verzeichnet gefunden.

Nachdem auch unter den charakteristischen Ergänzungsformen nur drei Formen, nämlich (001), (021) und (121), benannt sind, beginnt bereits die lange Reihe der individuellen Formen. Von ihnen wiederum sind es nur wenige, die mit Sicherheit mehrmals beobachtet worden sind; weit größer ist die Zahl der seltenen und unsicheren Formen, ihrer Zahl nach belaufen sie sich auf insgesamt 177 Formen, die nach dem Gdt. Atlas, Hintzes Handbuch sowie den von K. Obenauer (16) neu beobachteten Formen zusammengestellt sind. 85 Formen davon wurden nur an Hand der entnommenen Figuren sowie der Kombinationsaufstellung von Obenauer in der Statistik aufgestellt. Die übrigen Formen sind jedenfalls auch nur sehr selten beobachtet worden. Obenauer konnte bei den von ihm vermessenen Kristallen Einlinge nicht mit Sicherheit nachweisen. Es ist daher anzunehmen, daß auch hier beim Aragonit manche der aufgeführten Kristallbilder idealisierte Abbildungen von Zwillingsteilkristallen darstellen, die als Einlinge gezeichnet sind.

Die im Vergleich mit den Persistenzwerten der Gesamt-Aragonitkristalle graphisch zur Darstellung gebrachten Persistenzwerte der Aragonitzwillinge zeigt daher nichts Besonderes. Diese Darstellung ist in der Abbildung 5 ebenfalls eingetragen.

Eine gewisse Flächenreduzierung kommt schon allein dadurch zum Ausdruck, daß durch eine bestimmte Zwillingstracht (pseudohexagonale Drillinge) auch ein bestimmter Habitus beobachtet wird. So nimmt es nicht wunder, wenn die Bedeutung der Form (010), die dann gewöhnlich nur noch in den einspringenden Winkeln auftritt, hinter diejenige der Form (011) zurücktritt. Auch die beiden charakteristischen Spezialformen (111) und (012) haben in ihrer Rangfolge eine Auswechslung erfahren. Einige Verschiedenheiten bei den Individualformen sind nicht weiter von Wichtigkeit.

Die Kombinationspersistenz kann bei einem Mineral, dem nur wenige charakteristische Formen eigen sind, — sie belaufen sich beim Aragonit insgesamt auf acht — das aber sehr viele individuelle Formen aufweist, keine große Verschiedenheit gegenüber der Häufigkeitspersistenz der Flächenformen aufweisen. So kann der Aragonit trotz der viel geringeren Zahl an charakteristischen Formen im Vergleich mit Cerussit doch einen reichgestaltigen Habitus und mitunter sehr flächenreiche Kombinationen hervorbringen.

Die Durchschnittswerte für die Zahl der an den Kombinationen beteiligten Flächenformen sind am zweckmäßigsten sofort aus der relativen Kurvenlage der Abbildung 6 zu entnehmen.

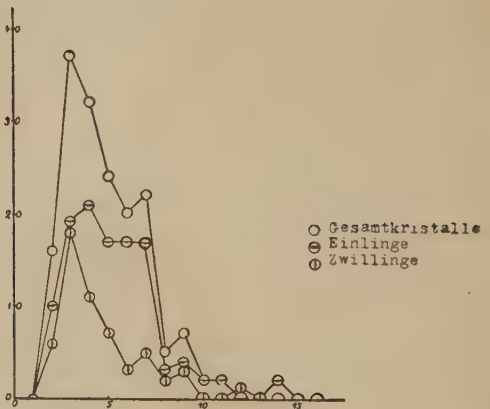


Abbildung 6 a.
Alle Kombinationen des Aragonits nach der Zahl der Formen [Häufigkeitspersistenzen].

Die Abbildung enthält unter b) drei Kurven, ebenso wie es in der Abbildung 4 für Cerussit der Fall war, indem für Gesamtkristalle, Einlinge und Zwillingskristalle je eine besondere Darstellung eingetragen ist. Durch ihren Vergleich läßt sich wiederum erkennen, welche Sonderstellung die Zwillinge bezüglich ihres Habitus aufweisen.

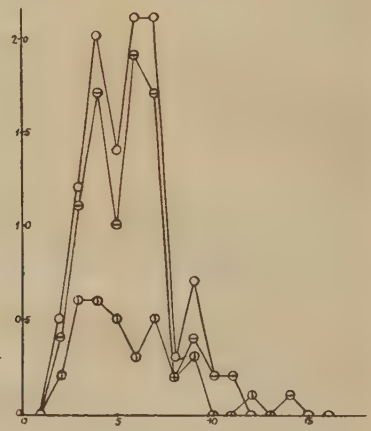


Abbildung 6 b.
Die verschiedenen Kombinationen des Aragonits nach Zahl der Formen [Kombinationspersistenz].

Der Einfluß der Zwillingsbildungen ist jedoch bei Aragonit für die Zusammenstellung der verschiedenen Kombinationen sehr gering, denn alle drei Kurven verlaufen ziemlich ähnlich.

Um den Einfluß der Kombinationspersistenz gegenüber der Aufstellung der Häufigkeitspersistenzen klar zum Ausdruck zu bringen, wurde auch die Abbildung 6a hier zugefügt. Sie stellt das entsprechende Bild, jedoch

unter Berücksichtigung aller Kombinationen, auch der mehrfach aufgeführten, dar.

Hierdurch kommt die Flächenreduzierung bei Zwillingen sehr gut zum Ausdruck. Die Hauptkurve enthält ein auffälliges Maximum für die flächenarmen Kombinationen von drei Formen. Wie der Vergleich der für Einlinge und Zwillinge vorgesehenen Kurven zeigt, (in der gleichen Abbildung) liegt dieser ausgeprägten Kurvenform fast nur der Anteil der Zwillinge zu Grunde. Die Kurve der Zwillinge ist derjenigen der Gesamtkristalle sehr ähnlich, die Kurve für Einlinge dagegen zeigt für Kombinationen von 3 bis 7 Formen nur wenig Schwankungen. Kombinationen von 6 und 7 Formen bilden die häufigste Habitusausbildung der Einlinge des Aragonits.

Die Vorherrschaft formenarmer Kombinationen bei den Zwillingen ist besonders durch die Bildung pseudohexagonaler Zwillings- und Drillingsgruppen bedingt, an denen mit dem Fortfall einspringender Winkel ein Rückgang der Formenzahlen zwangsläufig eintritt.

Obgleich nun durch diese Aufstellung der Aragonit- und Cerussitpersistenzen durch die Abbildungen 1, 2, 3 und 5 der Unterschied im Habitus dieser beiden Mineralien herausgestellt wird, bleibt insofern die Ähnlichkeit doch noch weitgehendst vorhanden, als gerade durch die Übereinstimmung der meisten wichtigsten charakteristischen Formen eine gleiche Ausbildung sehr häufig ist. Das Beharrende der Formen, das durch die kombinatorischen Persistenzen weitgehendst hervorgehoben wird, und in dem sich der eigentliche Unterschied ausdrückt, ist für die Statistik von Wichtigkeit und besonders hervorgehoben. Die Ähnlichkeit der Mineralien kann zahlenmäßig nicht so gut wiedergegeben werden.

Unterschiede mögen zum Teil in der jeweiligen Bildung begründet sein, die wie örtliche Variationen verschiedener Fundstellen bei einem gleichen Mineral die Ausbildung bedingen.

Der Habitus des Tarnowitzites, den in seiner verschiedenen Ausbildung u. a. H. O'Daniel (5) zusammengestellt hat, gleicht sich in seiner verschiedenartigen Ausbildung den vorgenannten Mineralien Cerussit und Aragonit an. Eine Persistenzwertaufstellung konnte bei ihm nicht vorgenommen werden, da zu wenige Beobachtungen vorlagen. Ganz anders in ihrer Ausbildung verhalten sich dagegen die beiden noch zu besprechenden Mineralien Strontianit und Witherit.

C. Flächenverteilung bei Strontianit und Witherit.

Auch von Strontianit und Witherit waren nur sehr wenige Aufzeichnungen vorhanden, denen die Angaben für die Persistenzwerte entnommen werden konnten. In der Hauptsache mag dieses wohl daran liegen, daß diese beiden Mineralien nur seltener in guten Kristallen, und dann meist nur in der ihnen geläufigen Tracht pseudohexagonaler Ausbildung, die besonders für den Witherit charakteristisch ist, vorlagen. Über die Flächenverteilung geben die folgenden beiden Tabellen Auskunft.

Tabelle III.

Flächenpersistenzen des Strontianits.

Nr.	Indizes	Häufigk.-Kombinations-Persistenzen		
1	110	91	89	Charakteristische Leitformen
2	010	89	86	
3	111	66	61	
4	021	60	53	Charakteristische Nebenleitformen
5	001	46	46	
6	011	46	46	
7	112	31	21	Keine Spezialformen
8	331	23	21	
9	441	20	18	
10	041	20	18	
11	221	20	18	
12	012	17	18	
13	0.12.1	17	14	Charakteristische Ergänzungsformen
14	0.24.1	14	11	
15	102	11	11	
16	113	11	14	
17	081	11	7	
18	881	11	7	
19	661	11	7	
20	032	9	3	
21	332	9	3	
22	115	9	3	
23	071	6	7	
24	061	6	7	
25	023	6	7	
26	12.12.1	6	7	
27	36.36.1	3	3	
28	325	3	3	
29	24.24.1	3	3	Individuelle Formen
30	0.11.1	3	3	
31	051	3	3	
32	031	—	—	
33	445	—	—	
34	11.11.4	—	—	
35	10.10.1	—	—	
36	40.40.1	—	—	

Wenn beide Mineralien, Strontianit und Witherit, auch häufig in der uns bei Aragonit und Cerussit geläufigen Tracht auftreten, so herrscht nach den bisherigen Beobachtungen, die in der Literatur zusammengestellt sind, die pseudonexagonale Ausbildung doch so weit vor, daß eine bedeutsame Verschiebung der Persistenzwerte herbeigeführt wird.

Tabelle IV.

Flächenpersistenzen des Witherits.

Nr.	Indizes	Häufigkeits- und Kombinationspersistenzen I.	Häufigkeits- und Kombinationspersistenzen II.
1	010	83	69
2	021	76	59
3	110	41	55

Nr.	Indizes	Häufigkeits- und Kombinationspersistenzen I.	Häufigkeits- und Kombinationspersistenzen II.
4	012	41	28
5	111	31	48
6	011	34	31
7	001	21	21
8	114	17	24
9	112	14	17
10	041	14	10
11	031	14	3
12	014	3	3
13	221	—	3
14	332	—	10
15	130	—	—
16	118	—	—

Die Tabelle III stellt die Häufigkeitspersistenzen des Strontianits dar, sowie seine Kombinationspersistenzen, die sich davon nur wenig unterscheiden. Entsprechend der schon erwähnten größeren Flächenarmut dieses Minerals sowie der geringeren Zahl der Beobachtungen sind hier nur noch 36 Formen vorhanden, die im Gdt. Atlas verzeichnet sind. Da hierunter jedoch 16 charakteristische Formen bei der Kombinationspersistenz, bezw. 19 charakteristische Formen bei der Häufigkeitspersistenz vertreten sind, so läßt sich daraus eine große Beharrlichkeit der Formen ableiten. Die Verteilung der Formen auf die charakteristischen Formengruppen ist der des Cerussits ähnlich; lediglich die Zahl der individuellen Formen ist hier bedeutend kleiner. Gegenüber dem Cerussit ist das häufigere Auftreten von Formen der Indizes (hhk) von Bedeutung. Der Grund liegt in der oftmaligen pseudohexagonalen Bildung; denn es sind vornehmlich die Formen der genannten Indizes, die sich mit entsprechenden Formen der Längsprismenzone, nähmlich (0.2 h.k), zu pseudohexagonalen Pyramiden zusammenschließen.

In der Tabelle IV sind die Häufigkeitspersistenzen der Flächenformen des Witherits zusammengestellt. Für dieses Mineral läßt sich ein Vergleich der Persistenzwerte mit den vorher besprochenen Mineralien kaum noch durchführen, da hierfür zu wenige Beobachtungen vorlagen. Nur noch 16 Flächenformen sind beobachtet worden. Davon besitzen einige wiederum sehr niedrige Persistenzzahlen. Die ersten 9 Formen (mit mehr als vier Beobachtungen) sind als charakteristische Formen zu bezeichnen. Eine Unterteilung in weitere Gruppen soll hierbei nicht vorgenommen werden, da durch wenige neue Beobachtungen bereits eine auffallende Verschiebung in diesen Unterabteilungen der charakteristischen Formen eintreten könnte. Da es nicht allen Abbildungen des Gdt. Atlas mit Bestimmtheit zu entnehmen war, ob bei den pseudohexagonalen Drillingen die Fläche (110) oder die Fläche $\perp$ (110) als Verwachsungsebene der Zwillingsteilkristalle anzusehen ist, wurden die Persistenzwerte für beide Aufstellungen der fraglichen Abbildungen aufgestellt. Die beiden verschiedenen Reihen der Persistenzwerte sind in der Tabelle unter I und unter II

nebeneinander zur Darstellung gebracht. Der Unterschied im Habitus der Drillinge bei den vorbenannten beiden Aufstellungen tritt besonders dadurch zu Tage, daß bei der ersteren Aufstellung, bei der die Fläche (110) Verwachsungsebene ist, Flächen der Indizes (Okl) häufig sind, während bei der zweiten Möglichkeit der Aufstellung, wobei die Individuen nach einer Fläche ⊥ (110) verwachsen sind, vorwiegend Formen der Indizes (hhk) auftreten. Für beide Aufstellungen treten für die charakteristischen Formen nur geringe Verschiebungen ein. Die Abbildung 7 deutet die Lage der Verwachsungsebenen in den Witheritdrillingen der beiden möglichen Aufstellungen an. In der Natur sind wahrscheinlich beide Möglichkeiten vertreten.

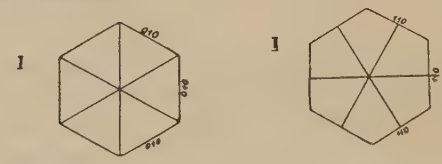


Abbildung 7. Querschnitt von Drillingen des Witherits.

D. Gemeinsame Betrachtungen an den untersuchten Mineralien.

Überblicksmäßig ist bei allen untersuchten Mineralien, Cerussit, Aragonit und Strontianit sowie Tarnowitzit und Witherit, was die Häufigkeits- und Kombinationspersistenz ihrer Flächenformen anbelangt, eine starke Ähnlichkeit festzustellen. Ein vorläufiger Vergleich der habituellen Ausbildung der Mineralien Cerussit und Aragonit wurde bereits dem Abschnitt über die Aragonitflächenpersistenzen angeschlossen, da diese beiden Mineralien als formenreichste Glieder der Gruppe einen besonderen, ausführlicheren Vergleich untereinander zulassen. Dort ist auch bereits des Tarnowitzites Erwähnung getan.

Für alle untersuchten Mineralien sind in der Reihenfolge der Persistenzwerte (außer bei Witherit, dessen Formenstatistik bei den wenigen Angaben noch ungenügend bleibt und bei Tarnowitzit, für den keine Persistenzen aufgestellt werden konnten,) die Formen (110) und (010) die wichtigsten und stets charakteristische Leitformen. Ihnen folgen in nicht genau festliegender Reihenfolge die Hauptpyramidenform (111) sowie einige der wichtigsten Längsprismenformen. Die Basis (001) tritt ebenfalls noch unter den wichtigeren charakteristischen Formen auf, dagegen verschwindet die vordere Endfläche (100), die bei Cerussit noch eine verhältnismäßig hohe Persistenzzahl erreicht, bei den übrigen Mineralien fast vollständig. Nicht so auffällig tritt die Querprismenform (102) in den Hintergrund, die bei Cerussit ebenfalls zu den wichtigeren charakteristischen Formen zählt.

Für die folgenden Formen mit niedrigeren Persistenzwerten ist der Vergleich im einzelnen schlecht durchzuführen, da bei der Fülle der Formen, insbesondere der individuellen Formen keine Reihenfolge in der

Wichtigkeit mehr eingehalten werden kann. Bei dem großen Formenreichtum besonders von Aragonit und Cerussit kann oft schon durch nur eine oder einige wenige neu hinzukommende Beobachtungen die Reihenfolge der Persistenzwerte bei den Individualformen, aber auch schon bei den Ergänzungsformen eine Änderung erfahren.

Die Formenteilung an den Kristallen überhaupt ist jedoch bei allen genannten Mineralien recht ähnlich, so daß bei etwas verschiedenem Habitus doch noch die gleiche Tracht oft gewahrt werden kann.

Bezüglich der Gemeinsamkeit der genannten Mineralien kann hier bereits folgende Bemerkung, die sich auf ihr Verhältnis zu einander bezieht, vorweggenommen werden.

Wie der strukturell ähnliche Aufbau der Mineralien, der in einem späteren Abschnitt besprochen werden wird, eine isomorphe Mischbarkeit der Komponenten begünstigt, oder verhindert und nur in beschränktem Maße zuläßt, (vergl. die chemische Zusammensetzung des Tarnowitzites (5),) kommt auch eine gegenseitige Beeinflußbarkeit in Frage. So bemerkte bereits J. Beckenkamp (Zentralbl. f. Min. 1917, S. 30) bezüglich der dimorphen $CaCO_3$-Substanz Folgendes: „Es ist vielleicht nicht ohne Bedeutung, ... Aragonit entsteht, wenn Pb-verbindungen Lösungsgenossen sind."

Demnach ist die Tatsache, daß das Pb-Atom sich nicht in ein rhomboedrisches Carbonatgitter einbauen läßt — das Bleimineral in der Calcitreihe ist nicht bekannt — auch für die Bildung der rhombischen Carbonate der übrigen Metallatome (Erdalkalien) von Wichtigkeit.

Es läßt sich durch dieses Beispiel, das eine einseitige Auswirkung der Dimorphie bedingt, auch leicht erklären, daß auch andere Mineralien die morphologische Ausbildung bestimmter Kristalle beeinflussen, wenn sie auf die Struktur auch nur selten einen Einfluß haben können.

2. Kantenpersistenzen.

So wie sich die Häufigkeits- und Kombinationspersistenzen der Flächenformen zusammenstellen lassen und in geeigneter Weise über die tatsächliche Wichtigkeit der Formen Rechenschaft geben, ist im Folgenden auch eine Zusammenstellung der Persistenzen der Kantenrichtungen [4]) aufgestellt. Sie bildet im Zusammenhang mit der strukturellen Bedeutung, die hierbei nach Niggli (15) von einflußreicherer Wichtigkeit ist als die der Gitterebenen, eine wichtige Grundlage für die vergleichenden Untersuchungen zwischen äußerer Formenverteilung und innerer Struktur.

a) Cerussitkanten in Zusammenstellung und Diskussion.

Die Kantenhäufigkeitspersistenzen sowie Kantenkombinationspersistenzen sind in der Tabelle V für Cerussit zusammengetragen. Die Durch-

[4]) Unter einer Kantenrichtung werden in diesem Abschnitt jeweils sämtliche Kanten der gleichen Indizes ohne Berücksichtigung des Vorzeichens verstanden. (Analog: Flächenform.)

führung dieses statistischen Teiles konnte in der gleichen Weise erfolgen wie die Aufstellung der entsprechenden Tabellen der Flächenformen.

Tabelle V.

Kanten-Häufigkeits- und Kombinationspersistenzen von Cerussit.

Nr.	Indizes	Häufigk.-persistenzen	Kombin.-persistenzen	Nr.	Indizes	Häufigk.-persistenzen	Kombin.-persistenzen
1	001	96	95	29	316	0,8	1,2
1	100	96	95	30	231	0,8	1,2
3	110	86	84	31	132	0,8	1,2
4	101	81	79	32	116	0,4	0,6
5	112	57	57	33	122	0,4	0,6
6	011	42	52	34	317	0,4	0,6
7	121	38	33	35	776	0,4	0,6
8	312	30	36	36	763	0,4	0,6
9	211	28	40	37	310	0,4	0,6
10	010	19	28	38	512	0,4	0,6
11	111	14	21	39	210	0,4	0,6
12	221	13	18	40	103	0,4	0,6
13	201	9,4	14	41	014	0,4	0,6
14	311	7,4	11	42	12.4.25	0,4	0,6
15	021	6,6	9	43	21.4.25	0,4	0,6
16	412	5,5	8	44	452	0,4	0,6
17	213	5,5	9	45	104	0,4	0,6
18	113	4,3	5	46	138	0,4	0,6
19	314	3,9	6	47	332	0,4	0,6
20	102	3,9	6	48	321	0,4	0,6
21	313	3,1	5	49	133	0,4	0,6
22	301	2,7	4	50	142	0,4	0,6
23	012	2,3	3	51	7.3.12	0,4	0,6
24	114	1,2	2	52	124	0,4	0,6
25	415	1,2	2	53	123	0,4	0,6
26	013	0,8	1,2	54	115	0,4	0,6
27	401	0,8	0,6	55	120	0,4	0,6
28	315	0,8	1,2				

Es sind dabei die einzelnen Kanten an jedem Kristall besonders festzustellen, da aus einem bestimmten Flächenhabitus durchaus nicht gleichzeitig die Kombination der Kanten hervorgeht. Oft zeigen die gleichen Flächenkombinationen sehr verschiedene Kantenkombinationen, da durch unterschiedliche Trachtentwicklung manche Kanten ausgespart werden, andere neu hinzutreten. Diese allein durch die Tracht bedingte Variationsbreite der Kantenkombinationen läßt von vornherein vermuten, daß solche Kanten, die mit großer Beharrlichkeit auftreten, von bedeutender Wichtigkeit sind, während seltenere in ihrer Bedeutung um so geringer sind. In den Abbildungen 8 und 9 sind die Kantenhäufigkeits- und Kombinationspersistenzen der Cerussitkanten in gleicher Weise wie bei den früheren Darstellungen graphisch aufgestellt.

Die große Variabilität der Kantenkombinationen kommt dadurch weitgehendst zum Ausdruck, daß die Kurven der beiden Abbildungen sehr

ähnlich verlaufen. Lediglich die beiden Kantenrichtungen [211] und [121] haben ihre Stellung in der Reihenfolge der Wichtigkeit mit einander gewechselt. Sie bleiben aber beide in der gleichen Gruppe der N i g g l i'schen Einteilung. Wie nach dem häufigen Auftreten von Prismenformen zweier Zonen des Cerussits, der Zonen der a-Achse sowie derjenigen der c-Achse, und der hohen Persistenzwertzahlen ihrer Formen zu erwarten steht, befinden sich die zugehörigen Zonenrichtungen [100] und [001], beide mit etwa 96% ihres Auftretens an sämtlichen beobachteten Kristallen als Kanten an erster Stelle. Neben [100] und [001] gehören die

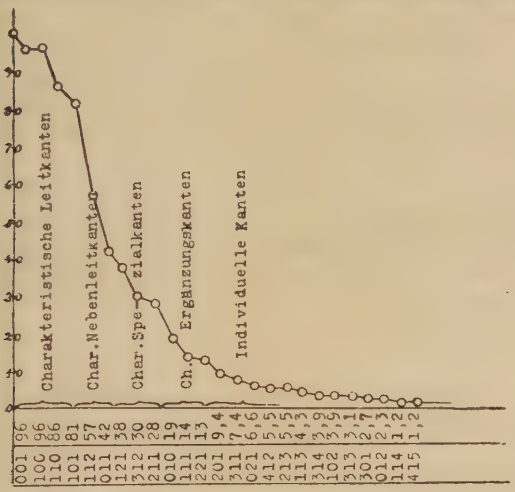


Abbildung 8.
Kantenhäufigkeits-persistenzen am Cerussit.

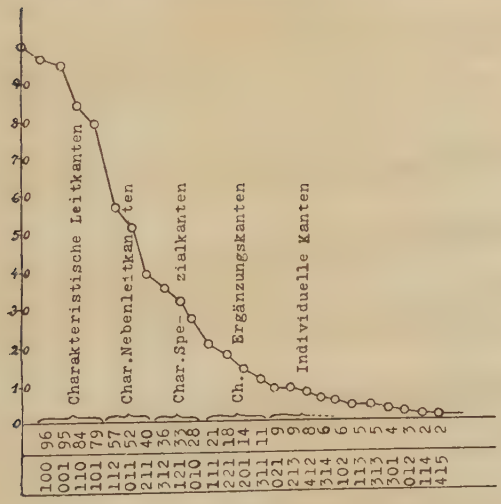


Abbildung 9.
Kantenkombinations-persistenzen am Cerussit.

beiden Kantenrichtungen [110] und [101], die in ihrer Bedeutung schon durch das häufige Auftreten der Flächenformen (111) und (110) bei der Aufstellung der Flächenkombinationspersistenzen festgelegt sind, zu den wichtigsten Kanten. Die vier genannten Kantenrichtungen entsprechen in ihrem Persistenzwert charakteristischen Leitformen und sind mit einem Zwischenraum von fast 5% der Wichtigkeit von den nächstwichtigeren Kanten auffällig geschieden. Die Kurven fallen von da an wieder gleichmäßiger ab, indem sie in jeder der untergegliederten Gruppen einige Kantenrichtungen zeigen. Die zahl der individuellen und zufälligen Kanten ist hierbei sehr groß.

Um die Zahl der individuellen Kantenrichtungen bei der Besprechung nicht unnötig zu erhöhen, da bei diesen ihre Bedeutung und ihr Einfluß bei der Untersuchung nicht mehr zu erkennen ist, wurden bei den Untersuchungen die Cerussitkristalle und Abbildungen außer Acht gelassen, die 12 oder noch mehr Flächenformen in Kombination aufwiesen.

Die Zahl der auftretenden Kantenrichtungen an einem Kristall ist meistens derjenigen der Flächenformen ähnlich. Dieses zeigt sich deutlich bei der Zusammenstellung der Kantenkombinationen nach der Zahl der beteiligten Kantenrichtungen. In der Abbildung 10 ist diese Zusammenstellung zur Darstellung gebracht.

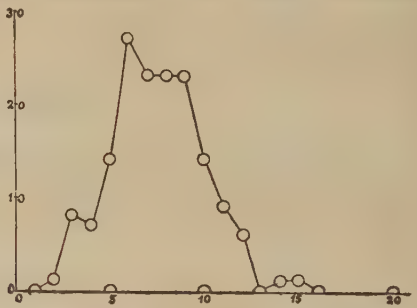


Abbildung 10.
Kantenkombinationen des Cerussits nach der Zahl der beteiligten Kantenrichtungen.

Der Art der benutzten Kristalle zufolge fällt die Kurve nach dem Teil der neunzähligen Kombinationen steil ab und bricht nach solchen mit 12 verschiedenen Kantenrichtungen plötzlich ab. Bei Berücksichtigung aller vorgefundenen Kristalle und Kristallbilder würde dieser letzte Kurventeil jedenfalls etwas flacher und ausgedehnter verlaufen, so ähnlich wie es bei den Kombinationen der Flächenformen der Fall war. Die Kombinationen von mehr als 12 Kantenrichtungen wären aber ebensowenig von Wichtigkeit. Die Kurve verläuft ziemlich gleichmäßig. Sie besitzt ihren höchsten Punkt bei den Kombinationen mit 6 Kanten, und zeigt für die mit 7 bis 9 Formen den gleichen Wert. In dieser Verteilung ergänzt diese Darstellung die bereits oben angeführte Bemerkung, wonach sich die beteiligten Flächenformen und Kantenrichtungen an einem Kristall ihrer Zahl nach ungefähr entsprechen, wie es auch der Vergleich der Abbildung mit der entsprechenden Kurve der Flächenkombinationen (Abb. 3) zeigt.

b) Strontianit- und Witherit-Kantenpersistenzen.

Die Persistenzwerte der Kanten des Cerussitz zeigen deutlich, welche Wichtigkeit den hochpersistenten Formen zukommt. Wie sich später noch aus dem Vergleich des strukturellen Teiles ergibt, spielen die niedrigpersistenten Kantenrichtungen eine umso geringere Rolle. Die Beziehungen unter den bezeichneten Mineralien läßt sich jedoch hierbei durch geringe Abweichungen, die sie voneinander unterscheiden, nicht so klar herausstellen, um dafür gesetzmäßige, ursächliche Zusammenhänge feststellen zu können.

In den beiden folgenden Tabellen VI und VII werden vergleichsweise die tabellarischen Zusammenstellungen der Kanten von Strontianit und Witherit gegeben.

Tabelle VI.

Kantenpersistenzen von Strontianit.

Nr.	Indizes	Häufigk.-persistenzen	Kombin.-persistenzen	Nr.	Indizes	Häufigk.-persistenzen	Kombin.-persistenzen
1	100	94	93	25	221	8	7
2	001	89	90	26	3.4.28	6	7
3	110	75	77	27	1.0.36	6	7
4	112	53	53	28	1.0.12	6	7
5	101	51	53	29	1.1.24	6	7
6	111	33	27	30	0.1.12	6	7
7	201	28	30	31	1.3.12	6	7
8	103	22	27	32	332	6	7
9	104	20	23	33	5.3.24	6	7
10	114	20	23	34	5.3.12	6	7
11	301	20	23	35	116	6	7
12	312	20	20	36	512	6	7
13	102	20	23	37	021	6	3
14	011	14	17	38	314	3	3
15	118	11	13	39	136	3	3
16	108	11	13	40	010	3	3
17	1.1.12	11	13	41	503	3	3
18	106	11	13	42	1.0.24	3	3
19	211	11	10	43	13.24.264	3	3
20	121	8	10	44	3.8.88	3	3
21	203	8	10	45	4.3.21	3	3
22	2.1.24	8	10	46	2.3.15	3	3
23	14,3.2	8	10	47	115	3	3
24	501	8	10	48	423	3	3

Die Beziehungen aus den Werten bei Cerussit zu denen bei Strontianit und Witherit sind aus den Zusammenstellungen der Persistenzwerte zu entnehmen. Während für den Strontianit noch eine gute Vergleichbarkeit möglich ist, konnte für den Witherit, für den zu wenige Beobachtungen zur Verfügung standen, eine ausreichende Zusammenstellung nicht erfolgen. Es fällt bei diesem Mineral das Vorherrschen der Kante [100] auf, das durch das häufige, alleinige Auftreten an Zwillingen, die außer der genannten Kante nur die Zwillingsnähte als Kanten aufwiesen, und dadurch die hohe Persistenzzahl hervorrufen, bedingt ist.

Für Strontianit sind neben den Häufigkeitspersistenzen der Kantenrichtungen auch die Kombinationspersistenzen aufgeführt und in der gleichen Tabelle VI zusammengestellt.

Tabelle VII.

Kantenpersistenzen von Witherit.

Nr.	Indizes	Häufigkeitspersist. I.	Häufigkeitspersist. II.
1	100	100	79
2	101	34	52
3	001	34	48
4	112	41	41
5	110	28	48
6	111	17	17
7	401	13	22
9	221	13	17
8	201	13	13
10	114	10	10
11	011	7	7
12	203	—	10
13	102	—	3

Die wenigen vorhandenen Kombinationen des Witherits wiesen nur wenige Wiederholungen auf, so daß die Kombinationspersistenzen mit den Werten der Häufigkeitspersistenzen fast übereinstimmen. Lediglich bei der ersteren Aufstellung der Persistenzwerte war ein relativ starkes Hervortreten der Kantenrichtung [100] zu beobachten. Die Aufstellung zweier verschiedener Reihen der Persistenzwerte bei diesem Mineral wurde bereits bei der Aufstellung der Flächenformenpersistenzen erörtert. Die bezeichnete Kantenrichtung trat bei den Zwillingen der ersteren Aufstellung stets allein auf, indem sich nur Flächen dieser Zone zeigten, die sich zu rundlichen Individuen zusammenfügten. An den betrachteten Kristallbildern des Witherits wurden nur 13 verschiedene Kantenrichtungen beobachtet. Der etwas flächenreichere Strontianit weist hingegen 48 Kantenrichtungen auf. Die Tabelle VII bringt die Zusammenstellung der verschiedenen Persistenzen des Witherits.

Die Persistenzwerte der Kanten bilden bei der späteren strukturellen Berechnung neben den durch Gittergrößen bedingten Abstandslängen der Massenpunkte die Grundlage für die Reihenfolge und die Auswahl der berechneten Kantenrichtungen. Der Cerussit mit seiner umfangreichen Zusammenstellung bietet dafür die geeignetste Grundlage, indes die hochpersistenten Formen der übrigen Mineralien unter denen des Cerussits vertreten sind.

III. STRUKTUR.

Mit den Betrachtungen des vorigen Abschnittes schließen die statistischen Beobachtungen an den Mineralien der Aragonitgruppe, soweit sie auf den strukturellen Teil irgendwie Bezug haben oder seine Grundlage bilden, ab. In den folgenden Abschnitten finden ihre Ergebnisse bei der strukturellen Berechnung nochmalige Verwendung.

1. Das Aragonitgitter.

Schwerpunktslagen und Gitteraufbau.

Die morphologischen Untersuchungen der vorliegenden Arbeit erstrecken sich in erster Linie auf das Mineral Cerussit, weil dieses unbedingt das formenreichste unter den untersuchten Mineralien der Aragonitgruppe darstellt. Außerdem wurde es auch in der Literatur am häufigsten beschrieben, so daß die statistisch gefundenen Werte beim Cerussit am ehesten den tatsächlichen Verhältnissen nahekommen dürften.

Die Ergebnisse der morphologischen Untersuchung sollen nach der Zielsetzung dieser Arbeit auf ihre strukturelle Grundlage bezogen werden.

Die strukturellen Daten, die in den folgenden Abschnitten Verwendung finden, wurden bereits vorhandenen Veröffentlichungen entnommen. So wird bei C. Ewald und P. Hermann (6) die Aragonitstruktur zahlenmäßig angegeben, die, wie weiter unten gesagt wird, auch für den Cerussit sowie für die übrigen Mineralien der Aragonitgruppe Verwendung findet. Die in Figur 144 des Strukturberichtes dargestellte Raumgitterzelle mit $Z = 4$ ist als Ausgangszelle des Gitters anzusehen. Dieses setzt sich, wie es die Abbildung 10 darstellt, mit weiteren derartigen parallelepipedischen Raumgitterzellen regelmäßig fort.

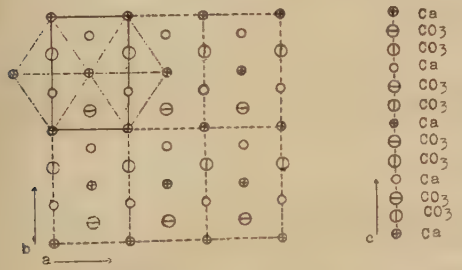


Abbildung 11.
Das Aragonitgitter, Projektion auf (001); rechts: Höhenlage der in der Projektion bezeichneten Massenpunkte übereinander.

Das pseudohexagonale Aragonitgitter läßt sich als deformiertes hexagonales Gitter (vergl. das von Rotnickelkies) beschrieben. Die Abweichungen von diesem, die in dem nicht genau entsprechenden Achsenverhältnis und der Verlagerung der CO_3-Gruppen liegen, sind im Strukturbericht genauer dargelegt.

Für die Betrachtungen am Cerussit wird nun das für Aragonit (als Vertreter des G_2-Typs) festgelegte Raumgitter, Raumgruppe V_h^{16} benutzt, wobei die von W. H. Zachariasen (Ref. im Strukturbericht, Nachtrag S. 388) für Cerussit bestimmten Größen Anwendung finden. Für die Berechnung der Atomlagen bezw. Atomschwerpunktslagen, konnten die bei Aragonit angegebenen Werte für u., v., ... , die zur Gitterberechnung notwendigen Konstanten, berücksichtigt werden, da Zahlenangaben in der Form echter oder unechter Brüche wünschenswerter sind als Dezimalbrüche. Bei der geometrischen Berechnung sind sie sogar erforderlich, weil Dezimalbrüche keinen genauen Daten entsprechen. Zu-

dem liegt der im Strukturbericht bei Aragonit angegebene Näherungswert (mit $u = {}^{7}/_{12}$) noch vollkommen innerhalb der Fehlergrenze des von Zachariasen angegebenen Wertes.

Bei der Ausführung der Beziehungen des Raumgitters werden nur die Lagen der Metallatome einerseits und die der C-Atome andererseits zur Grundlage der notwendigen Berechnung gemacht. Die C-Atome sind dabei als Schwerpunkte der CO_3-Gruppen anzusehen. Diese Regelung erscheint dadurch gerechtfertigt, als zunächst überhaupt den Metallatomen die größte Bedeutung zuzukommen scheint, da sie allein den pseudohexagonalen Bau des Gitters bedingen, der im Strukturbild und, oft viel auffälliger, in der morphologischen Erscheinung hervortritt. Es sollen sich jedoch noch einige Betrachtungen anschließen, die auch die Lage der O-Atome berücksichtigen.

Die folgende Tabelle VIII gibt die Lage der Gitterpunkte der Elementarzelle wieder. In der Spalte 1 sind die Punktlagen [[hkl]], so wie sie den Angaben im Strukturbericht entnommen wurden, wiedergegeben. In der Spalte 2 sind diese Werte unter Benutzung der Zahlenangaben nach W. Bragg (in 6) eingetragen. Diese Zahlenangaben, [[hkl]], sind jedoch noch für die Berechnung höchst ungünstig, da sie zwar alle nicht mit einander „identischen Punkte" bezeichnen, jedoch solche, die zum Teil verschiedenen Raumgitterzellen angehören. Außerdem erscheint die Berechnung übersichtlicher, wenn ein Massenpunkt im Koordinatenanfangspunkt des gedachten Raumgitters liegt. Hierzu wird ein Metallatom durch eine geeignete, mathematische Transformation in den Nullpunkt

Tabelle VIII a

Die Lage der Ca-Atome im Raumgitter.

[[hkl]] nach Angabe	[[hkl]] zahlenmäßig	[[h, k-u, l]]	[[h, k-u-g, l]] $= [[{}^{h}z^{k}z\ z]]$
$0,\ u,\ v$	$0,\ {}^{7}/_{12},\ 0$	$0, 0, 0$	$0, 0, 0$
$1/2,\ \bar{u},\ \bar{v} + 1/2$	$1/2,\ -{}^{7}/_{12},\ 1/2$	$1/2,\ -{}^{14}/_{12},\ 1/2$	$1/2,\ {}^{5}/_{6},\ 1/2$
$0,\ \bar{u} + 1/2,\ v + 1/2$	$0,\ -{}^{1}/_{12},\ 1/2$	$0,\ -{}^{8}/_{12},\ 1/2$	$0,\ {}^{2}/_{6},\ 1/2$
$1/2,\ u + 1/2,\ \bar{v}$	$1/2\ {}^{13}/_{12},\ 0$	$1/2,\ 1/2,\ 0$	$1/2,\ 1/2,\ 0$

Tabelle VIII b.

Die Lage der CO_3-Schwerpunkte im Raumgitter.

$0,\ p,\ q$	$0,\ 1/4,\ 1/6$	$0,\ -{}^{4}/_{12},\ 1/6$	$0,\ {}^{4}/_{6},\ 1/6$
$1/2,\ \bar{p},\ q + 1/2$	$1/2,\ -1/4,\ 1/3$	$1/2,\ -{}^{10}/_{12},\ 1/3$	$1/2,\ 1/6,\ {}^{2}/_{6}$
$0,\ \bar{p} + 1/2,\ q + 1/2$	$0,\ 1/4,\ {}^{2}/_{3}$	$0,\ -{}^{4}/_{12},\ {}^{2}/_{3}$	$0,\ {}^{4}/_{6},\ {}^{4}/_{6}$
$1/2,\ p + 1/2,\ q$	$1/2,\ {}^{3}/_{4},\ -1/6$	$1/2,\ {}^{2}/_{12},\ -1/6$	$1/2,\ 1/6,\ {}^{5}/_{6}$

verschoben, was dadurch erreicht wird, daß die Koordination hkl in diejenigen [[h, k—u, l]] überführt werden. Durch weitere Transformation in [[h, k—u+g, l]], wobei g eine entsprechende ganze Zahl bedeutet, so daß die Punktlagen durch echte Brüche bezeichnet werden, erhält man die Zelle, welche die Punkte [[000]], [[100]], ... , [[111]] als Eckpunkte hat.

Die Lage der Ca-Atome (bezw. der übrigen, sie isomorph ersetzenden Metallatome) mit $u = {}^{7}/_{12}$, $v = 0$ ist in der Tabelle VIII a zusammenge-

stellt. Mit entsprechender Bezeichnung wird die Lage der C-Atome bezw. CO_3-Gruppen-Schwerpunkte wiedergegeben. Für sie gelten die Konstanten $p = {}^1/_4$ und $q = {}^1/_8$. Sie sind in der Tabelle VIII b zur Aufstellung gekommen.

Die genaue Lage der Sauerstoffatome ist nach Bragg noch nicht ganz genau bestimmt. Ihre Anordnung wird von ihm in gleichseitigen Dreiecken um die C-Atome angenommen, deren Größe zunächst aus der Calzitstruktur entnommen wird. Durch eine geringfügige Verschiebung aus diesen Lagen, die nur angedeutet wird, kann eine Verbesserung der angenommenen Punktlagen im Vergleich mit den röntgenographischen Ergebnissen erreicht werden. Vorläufig werden also nur die Punktlagen der Metallatome und die Schwerpunkte der CO_3-Gruppen betrachtet.

2. Bestimmung der Belastung von Gittergeraden.

Als Ausgangspunkt für die Gittergeraden wird zunächst das schon vorher mit [[000]] bezeichnete Ca-Atom gewählt. Von ihm aus werden als Gittergeraden zunächst die Verbindungslinien mit allen übrigen Punkten im Innern des Parallelepipedes, sodann die Verbindungslinien mit den Punkten auf dem Rande desselben bestimmt.

Es ergeben sich verschiedene Richtungen, die als Kanten z. T. gar nicht oder nur gering persistent auftreten. Daher werden weiterhin die Besetzungen solcher Richtungen berechnet, die als Kanten eine hohe Persistenz zeigten. Die Verbindung des Nullpunktes mit [[100]] ergibt die Gerade [100], wobei der Abstand der identischen Punkte auf der Gitterlinie $J = \sqrt{5{,}14^2}$ Å ist. Weitere Geraden nebst den berechneten Werten [5]) sind in der Tabelle IX aufgeführt. Bei einigen Gitterlinien wiederholt sich die Anordnung der Gitterpunkte auf den Geraden bereits in einem kürzeren Abstand. Dieses ist z. B. bei der Gittergeraden [110] der Fall. Hier ist der Periodenabstand P gleich dem halben Identitätsabstand J. Die Numerierung der Tabelle geschieht zunächst im Einklang mit der Reihenfolge der Kantenpersistenzen (Nr. 1—12 der Tabelle IX) im übrigen in der Reihenfolge der Berechnung. Die Berechnung erstreckt sich somit auf 19 verschiedene Gittergeraden.

Da diese genannten Geraden aber nicht sämtliche Richtungen darstellen, die durch die Verbindung zweier Massenpunkte in dem gleichen Parallelepiped möglich sind, werden der Reihe nach auch sämtliche weiteren sieben Schwerpunkte der benutzten Raumgitterzelle zum Ausgangspunkt für die Verbindung mit anderen Punkten gewählt. Es werden dann jedesmal die schon vorher betrachteten Richtungen untersucht, sowie auch diejenigen, die sich durch Verbindung des jeweiligen neuen Nullpunktes mit Punkten in und auf dem Rande des Parallelepipedes neu dazu ergeben.

---

[5]) Über die Bedeutung sämtlicher benutzten Formeln und Abkürzungen sowie die vollständige Art der Berechnung orientiert ausführlich die Arbeit von P. Niggli (12).

Tabelle IX a.

Berechnung und Identitätsabstände von Gittergeraden.

Verbindung des Punktes ooo mit:	Bezeichnung der Geraden:	Nr.	Identitätsabstand.
[[100]]	[100]	2	5,14 Å
[[010]]	[010]	10	8,45
[[001]]	[001]	1	6,10
[[1/2, 1/2, 0]]	[110]	3	9,89; P = 4,94
[[0, 1/3, 1/2]]	[023]	13	24,90
[[1/2, 5/6, 1/2]]	[353]	14	48,55
[[111]]	[111]	11	11,67
[[1, 1/3, 1/2]]	[623]	15	39,63

Bis hierher handelt es sich um Verbindungen des Nullpunktes mit Ca-Atomen. Die nächsten Geraden sind Verbindungen mit CO_3-Schwerpunkten.

[[0, 4/6, 1/6]]	[041]	16	34,34
[[1/2, 1/6, 2/6]]	[312]	8	21,40
[[0, 4/6, 4/6]]	[011]	6	10,45
[[1/2, 1/6, 5/6]]	[315]	17	35,20
[[101]]	[101]	4	7,98
[[1, 4/6, 1/6]]	[641]	18	46,16
[[1, 4/6, 4/6]]	[322]	19	25,93

Jetzt folgen die Verbindungen auf Grund hoher Kantenpersistenzen.

— — —	[112]	5	15,7; P = 7,85
— — —	[121]	7	18,7
— — —	[211]	9	14,63
— — —	[221]	12	20,7

Die Zahl der untersuchten Gitterlinien erhöhte sich dadurch nach und nach auf 41. Es folgen in der Tabelle IX b die Angaben der 22 noch nicht genannten Gitterlinien mit den jeweiligen Identitätsabständen gleicher Massenpunkte.

Tabelle IX b.

Identitätsabstände von Gittergeraden.

Gittergerade	Nr.	Ident.-abstand	Gittergerade	Nr.	Ident.-abstand
[311]	20	18,61	[643]	31	49,28
[045]	21	45,52	[621]	32	35,70
[314]	22	30,07	[354]	33	51,17
[021]	23	17,95	[025]	34	34,86
[645]	24	54,98	[351]	35	45,49
[321]	25	23,68	[625]	36	46,54
[313]	26	25,38	[331]	37	30,39
[043]	27	38,43	[334]	38	38,93
[012]	28	14,84	[201]	39	11,96
[355]	29	54,35	[335]	40	42,55
[352]	30	46,60	[332]	41	31,92

Die Bestimmung und Berechnung der Gittergeraden Nr. 1 bis 19 war bereits vorher erwähnt worden. Ihrer Berechnung lag der Punkt [[000]] als Ausgangspunkt zugrunde. Unter diesen Gittergeraden wurden jedoch diejenigen Nr. 7, 9 und 12 auf Grund ihrer Kantenpersistenzzahlen

berücksichtigt und hinzugefügt. Für den Punkt $[1/2, 1/2, 0]$ als Ausgangspunkt werden die Gitterlinien 1—25 insgesamt erhalten. $[0, 1/3, 1/2]$ gibt Veranlassung für die Darstellung der Gitterlinien 26—32, die damit neu hinzukommen. Der Punkt $[1/2, 5/6, 1/2]$ läßt als neue Gitterlinie diejenigen unter Nr. 33—36 entstehen. Für $[0, 2/3, 1/6]$ als Ausgangspunkt kommen drei weitere Gitterlinien hinzu, die letzten drei für $[1/2, 1/6, 1/3]$. Auf diese Weise werden dann zunächst 41 Gittergeraden mit ihren Besetzungszahlen erhalten.

a) Schwerpunktsverteilung innerhalb der identischen Abstände auf den Gittergeraden.

Nach der im vorigen Abschnitt durchgeführten Berechnung der Geraden ergeben sich folglich acht Serien von Gitterlinien, je 41, je nachdem welcher Raumgitterpunkt als Ausgangspunkt gewählt wurde. Unter diesen Serien stimmt dann je eine, mit der gleichen Nummer bezeichnete, mit den entsprechenden Geraden der anderen Serien in der Richtung überein und besitzt damit natürlich auch den gleichen Identitätsabstand, kann aber in der Richtung, der Anordnung der Massenpunkte sowie auch in diesen selbst durchaus verschieden sein. Es genügt daher nicht eine einzige Darstellung der Gitterlinienbesetzung einer bestimmten Richtung. Es wird dieses noch später in der Abbildung 12 zum Ausdruck gebracht werden.

Es folgen zunächst in der Tabelle X die einzelnen, vorher genannten Gitterlinien mit einer neuen Numerierung, die nach der Lage der Abstände identischer Punkte auf den Gittergeraden durchgeführt ist. Diese Reihenfolge gibt die Grundlage für die weiteren Berechnungen der Gittergeradenbesetzungen.

Tabelle X.

Gitterlinien und Identitätsabstände.

Gitterlinie	Ident.-abstand	Nr.	Gitterlinie	Ident.-abstand	Nr.
[100]	5,14	1	[331]	30,39	22
[001]	6,10	2	[332]	31,92	23
[101]	7,98	3	[041]	34,34	24
[010]	8,45	4	[025]	34,86	25
[110]	9,89	5	[015]	35,20	26
[011]	10,45	6	[621]	35,70	27
[111]	11,67	7	[043]	38,43	28
[201]	11,96	8	[334]	38,93	29
[211]	14,63	9	[623]	39,63	30
[012]	14,84	10	[335]	42,55	31
[112]	15,70	11	[351]	45,49	32
[021]	17,95	12	[045]	45,52	33
[311]	18,61	13	[641]	46,16	34
[121]	18,70	14	[625]	46,54	35
[221]	20,70	15	[352]	46,60	36
[312]	21,40	16	[353]	48,65	37
[321]	23,68	17	[643]	49,28	38
[023]	24,90	18	[354]	51,17	39
[313]	25,38	19	[355]	54,35	40
[322]	25,93	20	[645]	54,98	41
[314]	30,07	21			

Nach den vorigen Angaben muß die Verschiedenheit in der Anordnung und Besetzungsweise der Massenpunkte auf den Geraden sich für jede einzelne in einem Spielraum von 1 bis 8 verschiedenen Besetzungen bewegen. In der Abbildung 12 sind die Gitterlinien in ihrer Besetzung mit Massenpunkten graphisch dargestellt. Da der Identitätsabstand auf den einzelnen Geraden beträchtlich wechselt, — bei [645] z. B. ist er mehr als zehnmal so groß wie bei [100] — wurde in der Darstellung der Identitätsabstand für alle Gittergeraden gleich groß belassen. Da die einzelnen Geraden, je nachdem von welchem Punkt das Parallelepipedes man ausgeht, verschiedene Besetzungen aufweisen, wurden sie in acht Serien dargestellt, obwohl nicht notwendig überall verschiedene Besetzungen da sind.

Ausgehend von der Seite 27 besprochenen Cerussitstruktur gilt die Aufstellung der Tabelle XI.

Tabelle XI.

Einteilung der Serien der Gitterlinien.

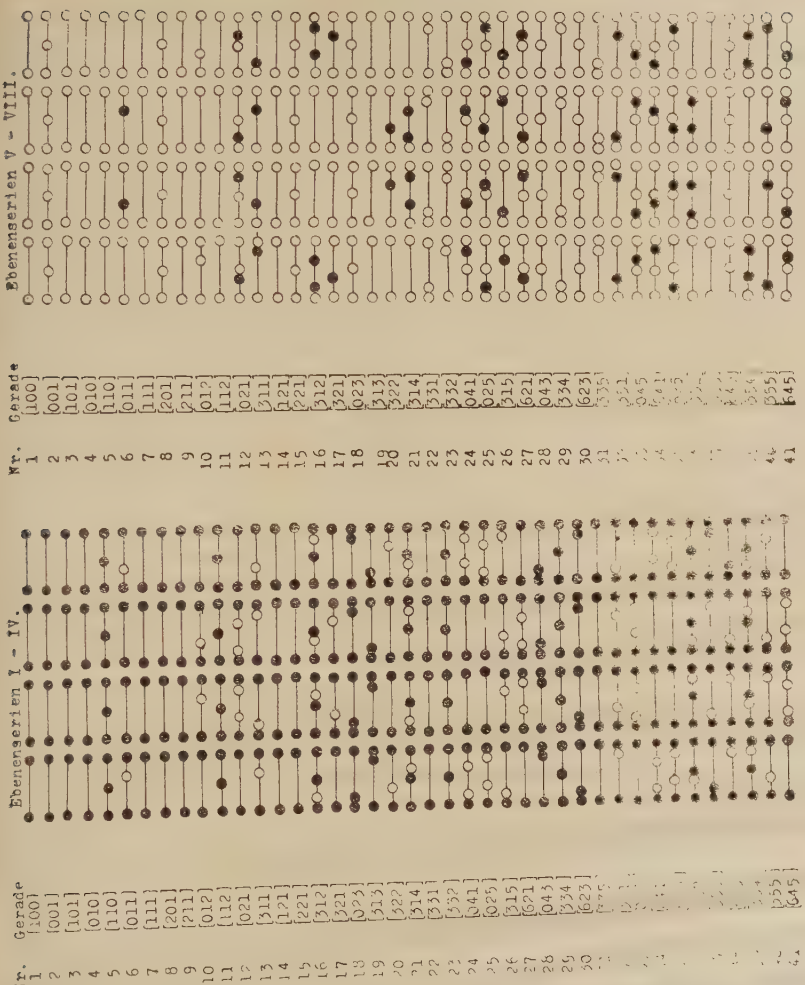
Serie						
Serie	I	entspricht	0, 0, 0	als	Ausgangspunkt	(Pb-Atom)
„	II	„	$\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, 0$	„	„	„ „
„	III	„	$0, \frac{2}{6}, \frac{3}{6}$	„	„	„ „
„	IV	„	$\frac{1}{2}, \frac{5}{6}, \frac{1}{2}$	„	„	„ „
„	V	„	$0, \frac{4}{6}, \frac{1}{6}$	„	„	(CO_3-Gruppe)
„	VI	„	$0, \frac{4}{6}, \frac{4}{6}$	„	„	„ „
„	VII	„	$\frac{1}{2}, \frac{1}{6}, \frac{5}{6}$	„	„	„ „
„	VIII	„	$\frac{1}{2}, \frac{1}{6}, \frac{2}{6}$	„	„	„ „

In der Abbildung 12 ist die Besetzung der Gitterlinien mit Massenpunkten dargestellt. Die Serien sind in erster Linie nach den jeweiligen Anfangspunkten im Parallelepiped verschieden. Ihre Numerierung ist nach der Länge der Identitätsabstände gemäß Tabelle X durchgeführt. In dieser und allen folgenden Abbildungen sind stets die Metallatome durch volle Kreise, die CO_3-Schwerpunkte durch leere Ringe bezeichnet.

Der Vergleich der Besetzung der Gittergeraden in den einzelnen Serien zeigt sofort, daß fast überall die Besetzung eine andere ist, da bereits die Anfangspunkte verschieden sein können. Bei je zwei Serien ist die Gittergeradenbesetzung spiegelbildlich gleich, so bei II und III, I und IV, bei VI und VII und bei V und VIII. Die Besetzung dieser Gittergeraden ist daher als gleich zu betrachten, da es nur eine Verschiedenheit in der Richtung bedeutet, die für die Gesamtbetrachtung ohne Bedeutung ist, da [hkl] und [$\bar{h}\bar{k}\bar{l}$] die gleiche Gerade darstellen. Weiterhin ist es gleichgültig, mit welchem Schwerpunkt man auf einer Geraden zu zählen anfängt. Daher ist z. B. eine Gittergeradenbesetzung, wie sie in der Abbildung 12 etwa für die Gittergerade [314] (Nr. 21 der Abbildung) in den Serien I, II, III, IV, VI und VII dargestellt ist, immer als gleich anzusehen.

Daher ergibt sich für die betrachteten und berechneten Gittergeraden, daß jeweils die Besetzung der Geraden in den einzelnen Serien in vielen Fällen nur zweimal verschieden ist, in einigen Fällen sich jedoch auf drei verschiedene Möglichkeiten beläuft. Eine größere Anzahl der Verschiedenheiten im Aufbau der Gittergeraden in den einzelnen Serien kommt nicht

Abbildung 12. Besetzung der Gitterlinien mit Massenpunkten.



vor. Bei allen den Gittergeraden, für die drei verschiedene Besetzungen vorlagen, zeigt es sich, daß mindestens e i n e Besetzungsart darin besteht, daß die Gittergerade nur mit Massenpunkten der einen Art (n u r Metallatome oder n u r CO_3-Schwerpunkte) besetzt ist. Wie sich durch die Rechnung ergibt und auch an den Beispielen zu ersehen ist, ist der identische Abstand auf jeder Geraden mit höchstens drei Massenpunkten besetzt.

b) Belastungsverhältnisse unter Berücksichtigung der Abstandslängen identischer Punkte.

Um nun den Unterschied in der Stärke der Besetzung klarer hervortreten zu lassen, sind die Belastungsverhältnisse einer Serie für die ersten 20 aufgeführten Gitterlinien der Tabelle X im Verhältnis der berechneten identischen Abstände dieser Tabelle aufgezeichnet und in der Abbildung 13 zur Darstellung gebracht worden.

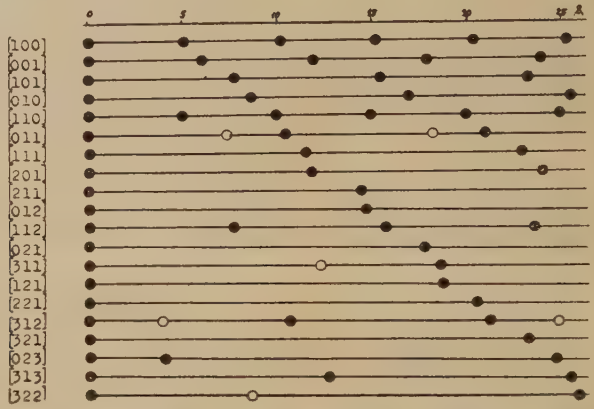


Abbildung 13.
Belastungsverhältnisse im richtigen Verhältnis der Abstände.

Die Gittergeraden waren so gewählt worden, daß mindestens bei einer Serie e i n Abstand benachbarter Gitterpunkte auf der Geraden höchstens gleich der Länge der Raumdiagonale des vorbezeichneten Parallelepipedes ist, seine Länge also höchstens 1,67 Å beträgt. Die wichtigsten Gitterlinien, d. h. solche, die als Kanten gemäß ihren Persistenzwerten von größerer Bedeutung sind und daher als charakteristische Kanten bezeichnet wurden, sowie einige wichtigere individuelle Kantenrichtungen werden durch etwa die erste Hälfte der dargestellten Gitterlinien erfaßt. In ihrer weiteren Reihenfolge kommen nur noch solche Geraden vor, die als Kanten gar nicht oder nur sehr selten auftreten, d. h. als solche überhaupt keine Rolle mehr spielen.

Andererseits sind die Gitterlinien [412], [213], [113], [102], [311], die als Kanten noch zu den wichtigeren individuellen Formen gehören, bei der Aufstellung der 41 Gittergeradenbesetzungen überhaupt nicht enthalten. Diese hier genannten Gittergeraden haben in ihrer Besetzung einen identischen Abstand, der kleiner ist als 30 Å, sie würden also in der Reihenfolge der identischen Abstände der Tabelle X noch zwischen die 20 zuerstgenannten Gitterlinien hineinpassen.

Es ergibt sich daraus, daß für die Morphologie der Kristalle offenbar nur der identische Abstand auf den Gittergeraden von struktureller Bedeutung ist. Ein Vergleich von Mittelwerten aus den Einzelabständen auf den Gitterlinien mit den gegebenen Abständen gleichparametrischer Rich-

tungen würde zu falschen Ergebnissen führen, allein schon deshalb, weil die Gittergeraden der gleichen Richtung stets zwei oder drei verschiedene Besetzungen haben, wie bereits aus der Abbildung 12 hervorging. Daher würden für die Mittel der Einzelabstände in den meisten Fällen für eine gleiche Gerade zwei verschiedene Größen vorliegen.

Es zeigt sich deutlich, daß die wichtigsten Gittergeraden auch die geringsten Abstände identischer Punkte aufweisen.

Um nun eine Vorstellung von der durchschnittlichen Besetzung der Gittergeraden zu haben, wurden die Anzahlen der belastenden Massenpunkte, durch die jeweils ein gleich großes Stück der verschiedenen Gittergeraden besetzt ist, aufgestellt. Da diese Anzahl für die gleiche Gerade in den acht Serien zum Teil verschieden sein kann, wurden hierfür Durchschnittswerte berechnet. Diese Werte, die die mittlere Belastung der einzelnen Gitterlinien darstellen, sind für die 21 wichtigeren Kantenrichtungen in der Tabelle XII zusammengestellt.

Die Berechnung der mittleren Belastung (B Å), der ermittelten Durchschnittsbesetzungswerte der Gitterlinien, geschah nach folgender Formel:

$$B\ \text{Å} = \frac{n_I + n_{II} + \ldots + n_{VIII}}{8 \cdot \text{Identitätsabstand}}.$$

Hierin bedeutet n_I die Anzahl der Gitterpunkte im identischen Abstand bei der Serie I der Abbildung 12, die weiteren Bezeichnungen sind entsprechend gewählt.

Tabelle XII.

Mittlere Belastung der Gittergeraden.

Form	a	$\sum_{I}^{VIII} n/8$	b	Bo Å	c
[100]	1	1,0	2	0,196	2
[001]	2	1,5	1	0,246	1
[101]	3	1,0	4	0,125	7
[010]	4	1,0	10	0,119	8
[110]	5	1,5	3	0,152	3
[011]	6	1,5	6	0,143	4
[111]	7	1,0	11	0,085	14
[201]	8	1,5	13	0,125	6
[211]	9	1,0	9	0,068	17
[012]	10	1,5	23	0,101	11
[112]	11	1,5	5	0,099	12
[021]	12	2,5	15	0,139	13
[311]	13	2,0	14	0,107	10
[121]	14	1,0	7	0,053	21
[221]	15	1,5	12	0,073	16
[312]	16	2,5	8	0,117	9
[321]	17	1,5	—	0,063	18
[023]	18	2,0	—	0,080	15
[313]	19	1,5	21	0,059	19
[322]	20	1,5	—	0,057	20
[314]	21	2,5	19	0,086	13

In der Tabelle XII bedeuten die Angaben der Spalte a die Reihenfolge der Gitterlinien nach der Tabelle X, Spalte b die Reihenfolge nach der Tabelle V (Kantenhäufigkeitspersistenzen), die Spalte c ist nach der Spalte B Å geordnet.

Durch die Tabelle XII wird ersichtlich, daß starke Besetzungen im allgemeinen den Formen mit geringem Identitätsabstand zukommen. Diese sind zumeist auch die persistentesten Kanten im äußeren Auftreten. Die Formen [100] und [001] treten in allen drei Spalten (a, b und c) an erster Stelle auf. Die Formen [110], [101] und [011] sind ebenfalls in allen drei Spalten mit niedriger Bezifferung vorhanden. Dagegen folgt die Form [112], die bei den Persistenzwerten schon an fünfter Stelle steht, in den beiden anderen Spalten erst an elfter und zwölfter Stelle. Umgekehrt ist es mit der Form [010], die als Kante erst unter den Ergänzungskanten auftritt, jedoch einen geringen Gitterabstand und dichte Besetzung aufweist.

3. Ebenenserien und Belastung.

Die wichtigste Feststellung bei der Beobachtung der Beziehungen zwischen Struktur und Morphologie am Quarz charakterisiert P. Niggli (15) mit folgenden Sätzen:

„Die Erscheinungen am Quarz zeigen somit mit aller Schärfe, daß nicht die Belastungsverhältnisse der Gitterebenen, sondern die Belastungsverhältnisse der Gittergeraden die äußere Morphologie bestimmen. Die Zonenbestimmung ist das Primäre, die Flächenlage das Sekundäre".

Trotzdem scheint eine genaue Diskussion der Flächenlagen und -besetzungen, insbesondere bei einem Beispiel wie dem des Cerussits, bei dem die Beziehungen zwischen den Lagen der einzelnen Schwerpunktslagen im Gitter von vornherein klarer zu liegen scheinen als beim Quarz, doch von Wichtigkeit zu sein. Hierdurch kann einerseits die gegenseitige oder auch einseitige Abhängigkeit von Flächen und Kanten, bzw. von Gitterebenen und Gitterlinien herausgestellt werden, andererseits ist auch offensichtlich in manchen Fällen wie etwa bei Zonenriefung und Kombinationsriefung eine Kantenrichtung das Primäre; umgekehrt sind die an den Schmalseiten der die Riefung ausmachenden Flächen auftretenden Kanten nur als Zufallsformen zu bezeichnen, da sie erst wieder eine Folgeerscheinung der Flächenformen darstellen.

a) Theoretische Übersicht und Unterteilung.

Für die Berechnung der Flächenbesetzungswerte (ΣL), der Δ-Werte, dem senkrechten Abstand der Gitterebenen, und die weitere Auswertung der für die Ebenenserien und Belastungen in Betracht kommenden Zahlen hat W. Schilly (18) in Analogie mit P. Niggli (13) eine klare Darstellung gegeben und für die Berechnung teilweise Beispiele ausführlich behandelt. Die Begriffe der Belastung einer Ebene und der Ebenenserie sind dabei erörtert. Daher sollen hier nur die wichtigsten Bezeichnungen, die als Abkürzungen verwendet werden, wiederholt werden.

Unter J(hkl) wird der Flächeninhalt eines bestimmten kleinsten Parallelogramms einer durch das Symbol (hkl) gegebenen Fläche verstanden. Dann ist

$$L = \frac{q_1 \cdot A_1 + q_2 \cdot A_2}{J_{(hkl)}}$$

die Belastung einer Ebene (hkl), welche sich mit gleicher Belastung unter einer Schar paralleler Ebenen im senkrechten Abstand

$$\Delta_{(hkl)} = \frac{V_{(abc)}}{J_{(hkl)}}$$

als identische Ebene wiederholt. Dabei stellt V (abc) den Rauminhalt des Elementarparallelepipedes dar. A_1 und A_2 bedeuten die Bausteine des Gitters, die q_1, q_2, . . . mal in dem genannten Elementarparallelogramm auftreten. Sie können als Atomgewichte oder als Ordnungszahlen gedacht werden.

Zwei identische Ebenen einer solchen Schar bilden mit ihren Zwischenebenen, die im Abstand δ_1, δ_2, ... aufeinander folgen, eine Ebenenserie. Durch Einsetzen der zahlenmäßigen Werte der zu untersuchenden Ebenen ($n_e k_e l_e$) ergibt sich die jeweilige Ebenenserie mit ihrer Abstandsfolge und jeweiliger Belastung aus folgenden acht Gleichungen, die sich unter Bezugnahme auf die Lagen der Metall- (Pb-) Atome bezw. CO_3-Schwerpunkte ($h_z k_z l_z$) ergeben.

$$h e h_z + k e k_z + l e l_z = d_{1-8}.$$

Bei der Berechnung wurden alle diejenigen Ebenenserien untersucht, deren Flächen bei der Habitusuntersuchung des Cerussits eine Rolle spielten. Sämtliche Formen, die bei den Flächenformenpersistenzen als charakteristische Formen auftraten und alle individuellen Formen, die an mindestens drei Kombinationen beobachtet wurden, sind dabei in Betracht gezogen worden. Da man, aus Gründen der „Identität" entsprechender Ebenen, bei den Ergebnissen obiger Gleichung nur die echten Brüche (und Null) unter den d-Werten zu berücksichtigen hat, ergibt sich von vorneherein ein relativ gleicher Serienaufbau bei allen den Formen, deren Indizes sich um Vielfache von 6, beim ersten Index schon um solche von 2, unterscheiden.

Als erste soll die Ebenenserie <100> betrachtet werden, da ihr in der Reihe der Persistenzwerte der höchste Wert zukommt. Der Übersichtlichkeit wegen sollen hier statt der Werte d, die hier

$d_1 = 0$
$d_2 = {}^3/_6$ für Pb-Atome und
$d_3 = 0$
$d_4 = {}^3/_6$

$d_5 = 0$
$d_6 = {}^3/_6$ für CO_3-Gruppen
$d_7 = 0$
$d_8 = {}^3/_6$

lauten, nur die 6-fachen Werte der um evtl. vorhandene ganze Zahlen verminderten d verwendet werden. Diese Werte lauten demnach für die bezeichnete Ebenenserie:

$$d \left\{ \begin{matrix} 0,\ 0, \\ 3,\ 3, \\ 0,\ 0, \\ 3,\ 0. \end{matrix} \right.$$

In der Niggli'schen Darstellungsweise ergibt sich dann folgendes Bild, das in der Abbildung 14 a dargestellt ist, wenn man zunächst den Faktor Q für alle Serien außer Betracht läßt und somit alle Größen auf einen festen Identitätsabstand bezieht.

Abbildung 14 a.

(100) $d \cdot \begin{Bmatrix} 0 \\ 3 \\ 0 \\ 3 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} 0 \\ 3 \\ 0 \\ 3 \end{Bmatrix}$

Da sowohl die Länge der Serie (Δ) sowie auch die Belastung der einzelnen Ebenen, ebenso natürlich wie die Gesamtbelastung aller Ebenen der gleichen Serie (ΣL) von dem Faktor Q in gleicher Weise abhängig sind:

$$1)\quad \Delta_{(hkl)} = V_{(abc)} \cdot Q_{(hkl)} = V_{(hkl)} \cdot \frac{1}{J_{(hkl)}},$$

$$2)\quad L = \frac{q_1 A_1 + q_2 A_2}{J_{(hkl)}} = (q_1 \cdot A_1 + q_2 \cdot A_2) \cdot Q_{(hkl)},$$

$$3)\quad {}_{\Sigma}L = \frac{8\ (A_1, A_2)}{J_{(hkl)}},$$

so ergibt sich zwischen den Belastungsverhältnissen ΣL und der Serienlänge Δ ein konstantes Verhältnis. Die Berechnung dieses Verhältnisses für alle berechneten Serien- und Belastungsverhältnisse gibt so zugleich eine größere Kontrolle für die angegebenen Zahlenwerte.

Für die Untersuchung dieses Abschnittes kommen zwei verschiedene Möglichkeiten in Frage, deren jeder zunächst der Hauptwert zugemessen werden könnte. Die eine Richtung ist die Untersuchung und Feststellung der tatsächlichen Belastungsgrößen der verschiedenen Ebenen der Serien, die dann erst zur Auswertung kommen können, wenn mit genau entsprechenden Δ der einzelnen Serien gearbeitet wird. Die zweite Art liegt in dem Vergleich des Aufbaues der jeweiligen gesamten Periode der einzelnen Formen begründet. Zu beiden Untersuchungen kommt natürlich noch die Auswertung des Vergleichs der Identitätsabstandslängen hinzu.

b) Belastungsverhältnisse im identischen Abstand der Ebenen.

Die vorläufige Außerachtlassung des Faktors Q soll zunächst aus Gründen der Einfachheit (Einheitlichkeit der Darstellung und Übersichtlichkeit der Unterschiede innerhalb der Identitätsabstände) beibehal-

ten werden. Sie ermöglicht aber auch einen vollständigen Vergleich der Serieneinteilung.

Es besteht die Möglichkeit, daß Flächenformen, die morphologisch gleich wichtig erscheinen, auch in der Struktur gleiche oder ähnliche Bilder von Perioden darstellen; eine mit der gleichen Reihenfolge der beteiligten Ebenen einer Serie häufig auftretende, bestimmte Ebenenpackung, deren einzelne Glieder vielleicht in einer gewissen Folge eine physikalische Anziehungskraft aufeinander ausüben, wird dann das häufige Auftreten mancher Flächenformen, das etwa äußerlich stark in Erscheinung tritt, bedingen oder mit ihrem Nicht-Auftreten in ursächlichem Zusammenhang stehen.

Diese letztere Untersuchung wird zweckmäßig unter Zugrundelegung der obigen Feststellung, nämlich der Weglassung des Faktors Q erreicht; denn hierbei kann augenfällig der gleichartige oder unterschiedliche Aufbau in den Serien zu Tage treten und zum Vergleich stehen.

Nebenbei sei hier bei der Erwähnung des Vergleichs des Serienaufbaues bemerkt, daß W. Schilly (18) und ebenso K. Chudoba und Schilly (4) in ihren Arbeiten eine Typeneinteilung geben. Eine derartige Einteilung kommt aber bei dieser Arbeit weniger in Frage, da, wie aus der graphischen Darstellung der Ebenenserienbilder ersichtlich ist (Abb. 14), und wie auch schon die Rechnung beweist, nur eine Unterteilung in höchstens 6 δ des Identitätsabstandes Δ, durch die Struktur bedingt, in Frage kommen kann. Hierdurch würde eine zu abwechslungsarme Einteilung der Ebenenserien erfolgen. Die Erklärung der Typenbeschreibung nebst ihrer Anwendung auf das besprochene Gitter folgt Seite 44.

Bezüglich der Belastung der einzelnen Ebenen mit Metallatomen und CO_3-Gruppe sei zunächst Folgendes erklärt:

Die Belastung der einzelnen Ebenen wurde angegeben mit

$$L = Q.\ (q_1 \,.\, A_1 + q_2 \,.\, A_2).$$

Dabei wird durch q nur die Anzahl der beteiligten Schwerpunkte wiedergegeben, während A_1 und A_2 die Gewichte der Schwerpunkte bedeuten. Es steht dabei dahin, ob nun die Atomgewichte oder die (Summe der) Ordnungszahlen als Gewichte in diesem Sinne anzusehen sind. In beiden Fällen überwiegt das Gewicht des Metallschwerpunktes, zumal wenn man den Cerussit betrachtet (mit Pb), das der CO_3-Gruppe um ein Bedeutendes. Das Gewicht des Metallschwerpunktes ist etwa das Dreifache. Die zahlenmäßigen Angaben der verschiedenen Mineralien sind in der Tabelle XIII angegeben.

Tabelle XIII.

Gewichte der Raumgitterschwerpunkte.

Schwerpunkt	Ordnungszahlen	Atomgewichte
CO_3	30	60
Pb	82	207,21
Ba	56	137,36
Sr	38	87,63
Ca	20	40,08

Ähnlich wie bei Cerussit ist es bei Witherit, bei dem das Metallgewicht etwa das Doppelte der CO_3-Gruppe ausmacht. Ausgeglichener erscheint das Verhältnis bei Strontianit, wo der Unterschied der beteiligten Gewichte nur etwa ein Drittel des CO_3-Gewichtes groß ist. Umgekehrt liegt jedoch dieses Verhältnis bei Aragonit. Hier überwiegt das Gewicht der CO_3-Gruppe das Gewicht des Ca um die Hälfte seines Gewichtes. Auf diese Tatsache, daß der Cerussit und der Aragonit, die beiden Mineralien, die sich bezüglich morphologischer Eigenschaften besonders nahestehen, wie in einem früheren Abschnitt dieser Arbeit ausgeführt wurde, in den hier besprochenen Eigenschaften gerade den größten Unterschied zeigen, wurde in dem betreffenden früheren Abschnitt bereits hingewiesen. Bei der Untersuchung der Belastungsverhältnisse der Gittergeraden fand diese Bemerkung bereits Verwendung.

Unter Berücksichtigung dieser Übersicht der Tabelle XIII soll im Folgenden bei der Strukturbetrachtung der Ebenenserien stets das Verhältnis der Gewichte der Metallatome und der CO_3-Gruppen mit 1 : 1 vorausgesetzt werden. Zunächst wird diese Annahme bei dieser Auseinandersetzung, die nachher zum Vergleich mit der Morphologie sowohl des Cerussits als auch des Aragonits dienen soll, den Werten b e i d e r Mineralien am ehesten gerecht werden. Witherit und Strontianit haben dabei infolge des nur geringen Beobachtungsmaterials eine schwächere Bedeutung. Dieses ideal angenommene Verhältnis der Schwerpunktsgewichte wird aber auch zur besseren Übersicht über die Anzahl der an der Belastung beteiligten Punkte führen. Des weiteren wurde dieses Verhältnis belassen, weil wohl angenommen werden darf, daß die CO_3-Gruppen die bisher jedesmal als Einheit mit nur e i n e m Schwerpunkt angesehen wurden, in der Struktur infolge ihrer räumlichen Ausdehnung doch einen größeren Wirkungsbereich haben können.

Aus den im Folgenden gegebenen Darstellungen (Anordnung nach N i g g l i) ist infolge der unterschiedlichen Bezeichnung der Belastung mit Metallatomen und CO_3-Gruppen bei Zugrundelegung eines genaueren Gewichtsverhältnisses für eine speziellere Untersuchung in dieser Richtung an einem bestimmten Mineral der Aragonitgruppe diese Darstellung ohne Weiteres zu übertragen.

In der Abbildung 14a ist diese Darstellung für die Ebenenserie ⟨100⟩ gegeben. Die Länge x———x bezeichnet den identischen Abstand Δ, wie er sich nach der Berechnung ergibt. Die zahlenmäßigen Erörterungen der Belastungsverhältnisse, insbesondere die Angaben von Δ und δ sowie J sollen bei dieser Darstellung fortgelassen werden. Sie werden später zusammenfassend, in einer Tabelle vereinigt, aufgeführt werden.

Nach der üblichen Bezeichnungsweise enthält diese Periode nur zwei „vierfach belastete", gemischt besetzte Ebenen, die im gleichen Abstand aufeinander folgen, so daß die Wiederholung identischer Ebenen schon in der halben Periode erfolgt. Bei der Voranstellung graphischer Methoden können weiterhin auch diese Erklärungen weggelassen werden, da

sie daraus ersichtlich sind. Die Bezeichnungsweise, von einfach-, oder mehrfach-belasteten Ebenen zu sprechen, erscheint insofern ungünstig, als dadurch nur dem Wortlaut nach eine Vergleichbarkeit dargestellt wird. Diese ist jedoch nur dann durchführbar, wenn sich alle Angaben auf gleichgroße Stücke der betrachteten Ebenen beziehen. Das ist aber hier nicht der Fall, wie es das Vorhandensein des Faktors Q beweist.

Als nächste Ebenenserie sei jetzt ‹110› betrachtet. Außer der Abbildung sollen jetzt nur noch die d-Werte angegeben werden.

Abbildung 14 b.

Nach früheren Angaben besitzen Ebenenserien den gleichen Aufbau, wenn sie bestimmten rechnerischen Bedingungen entsprechen, vergl. Seite 37. 37 Dieses ist hier mit der Ebenenserie ‹170› der Fall, deren Aufbau mit dem der Ebenenserie ‹110› vollständig übereinstimmt.

Im Weiteren sei jetzt ‹010› betrachtet und in der nächsten Abbildung dargestellt.

Abbildung 14 c.

Hier ist, wie auch bereits bei ‹110›, der Periodenabstand gleich dem halben Identitätsabstand. Die Serie ‹210› hat den gleichen Aufbau mit gleichen d-Werten. Es folgt nun die Serie ‹111›.

Abbildung 14 d.

Dem gleichen Aufbau entspricht die Serie ‹171›.

Abbildung 14 e.

Die Serie ‹012› hat fast den gleichen Aufbau wie ‹111›, jedoch ergibt sich rechnerisch eine andere Aufteilung der d-Werte. Gleichen Aufbau zeigen ‹221›, ‹081›, ‹0, 14, 1› und ‹14, 14, 1›. Weiter folgt jetzt ‹012›.

Abbildung 14 f und 14 g.

⟨120⟩ zeigt ähnlichen Aufbau wie ⟨010⟩, dasselbe gilt für ⟨180⟩. Auffälliger gebaut ist ⟨130⟩.

Abbildung 14 h

Es fällt zunächst auf, daß diese Serie wie auch die ⟨110⟩ mit CO_3-Gruppen „vierfach belastete" Ebenen aufweist. Es erscheint hierdurch ein Hinweis für die Bedeutung der Zwillingsflächen gegeben zu sein. Doch tritt diese Erscheinung bei genauem Größenverhältnis der Belastungen vollkommen zurück. Auch treten noch weitere Serien mit ähnlichem Aufbau auf, wie z. B. ⟨350⟩, die als Zwillingsebenen überhaupt nicht vorkommen. Der Aufbau der Serie von ⟨530⟩ entspricht dem der Serie ⟨130⟩.

Es folgt die Darstellung der Serie ⟨102⟩ und entsprechend ⟨302⟩ sowie ⟨562⟩.

Abbildung 14 i.

Weiterhin ist die Serie ⟨001⟩ dargestellt.

Abbildung 14 k

Der gleichen Bau zeigen ⟨061⟩ und ⟨201⟩. Die Serie ⟨031⟩ zeigt den gleichen Aufbau wie ⟨001⟩, nur eine andere Reihenfolge der d-Werte ließ einen Unterschied erkennen.

Abbildung 14 l.

Wie ⟨031⟩ ist auch ⟨091⟩ aufgebaut. Mit anderer Einteilung folgt jetzt ⟨112⟩.

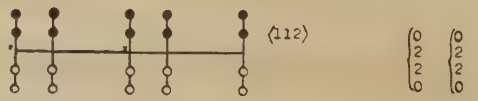


Abbildung 14 m.

Auch in der weiteren Darstellung der Ebenenserienbilder treten Wiederholungen auf. Sie sind jedoch bei der Berechnung noch nicht als gleich zu erkennen, da weder die Indizes den vorgenannten Bedingungen

entsprechen, noch die zahlenmäßig gleichen d-Werte dieselbe Reihenfolge haben. Die nun folgenden Ebenenserien erhalten daher sämtlich keine weiteren Angaben mehr. In der Abbildung 15 sind die Ebenenserien der bisher noch nicht besprochenen Flächenformen, deren Untersuchung in dem auf Seite 70 umrissenen Rahmen vorgesehen wurde, zur Darstellung gekommen.

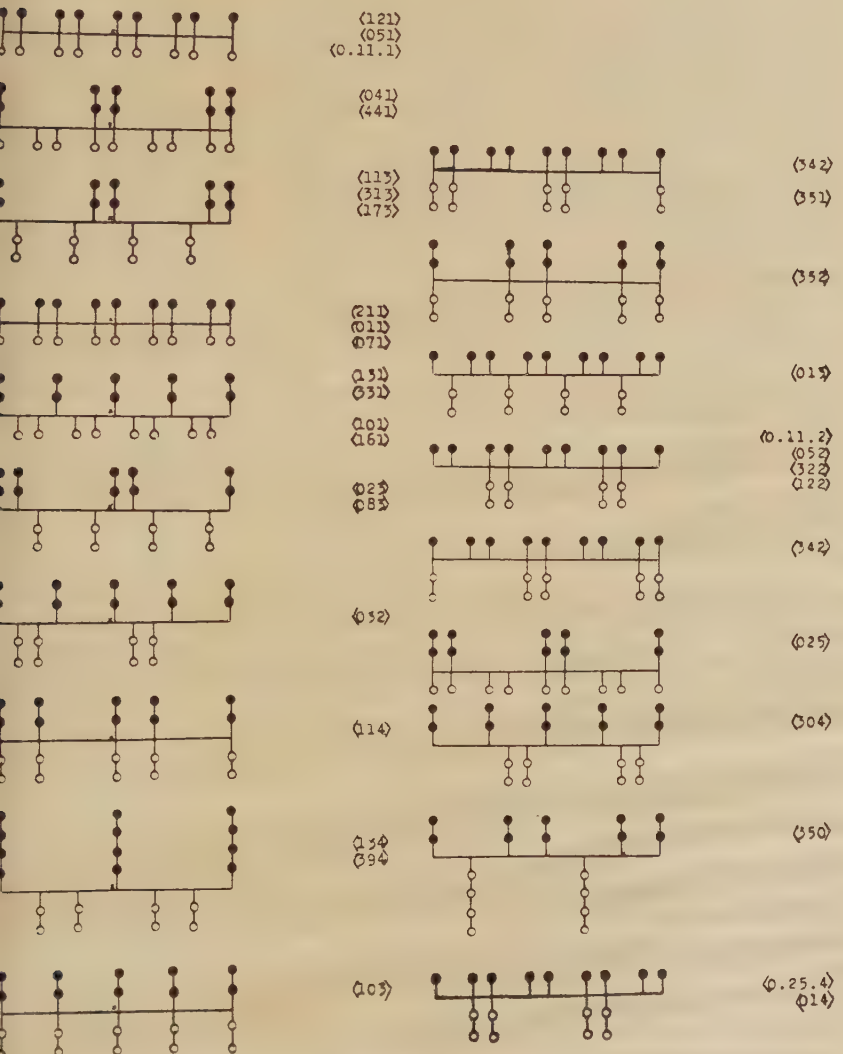


Abbildung 15 a— t.

c) Vergleich der Identitätsabstände.

In der vorangegangenen Zusammenstellung der Ebenenserienbilder aller in der Morphologie vertretenen Flächen zeigt sich nur eine verhältnismäßig geringe Verschiedenheit, wenn man berücksichtigt, daß neben hochpersistenten Formen auch solche berücksichtigt wurden, die nur selten auftraten.

Die Typeneinteilung von W. Schilly (vergl. S. 39) beruht auf der Untersuchung, wie die einzelnen Ebenen einer Serie auf einander folgen; ob sie zu Ebenenpackungen zusammengeschlossen erscheinen, oder ob sie von den Nachbarebenen durch gleiche Entfernung getrennt liegen. Es erfolgte also eine Trennung und Einteilung nach dem Verhältnis der Ebenenabstände untereinander. Für die Struktur des Cerussits liegt, wie schon erwähnt wurde, nur eine geringe Variationsmöglichkeit in der Unterteilung der Ebenenserien vor. Trotz 60 einzelner Formen konnten unter den verschiedenen Serien auf diese Weise nur drei Typen unterschieden werden.

Typ 1. Es verhalten sich die δ zueinander wie 1 : 1 : 1;

Typ 2. Es wechseln kleinere und größere Abstände. Die δ verhalten sich dabei wie 1 : 2 : 1 : 2 : 1.

Typ 3. Dieser Typ zeigt etwas mehr Rhythmus in seiner Unterteilung. Die δ verhalten sich zueinander wie 3 : 1 : 1 : 1 : 3 : 1 : 1 : 1 : 3.

Diese Typeneinteilung kann auch hier deshalb nicht durchwegs Anwendung finden, weil die einzelnen Ebenen einer Serie sehr unterschiedliche Belastung aufweisen. Beim Cölestin (Schilly, 18) besaßen alle Ebenen einer Serie die gleich hohe oder, wenn es sich um teils mit Sr, teils mit SO_4 besetzte Ebenen handelte, doch ungefähr gleich hohe Belastung. Dort war infolgedessen eine Vergleichbarkeit der Ebenenserien auf diese Weise gut durchzuführen. Umgekehrt werden beim Cerussit größere Ebenenabstände durch höhere Belastung bestimmter Ebenen ausgeglichen, da die Ebenen im Identitätsabstand einer Serie stets insgesamt 8-fache Belastung aufweisen müssen. Andererseits können auch im gleichen Abstand aufeinander folgende Ebenen durch verschiedene Belastungen ausgezeichnet sein.

Eine Ordnung der Ebenenserien nach der Art ihrer Belastung ergibt sich aus der folgenden Tabelle XIV.

In dieser Tabelle sind zunächst die Flächenformen nach der Tabelle I in der Reihenfolge ihrer Persistenzwerte aufgeführt (Spalte 1 und 2). Die dritte Spalte gibt den jeweiligen Flächeninhalt, auf den sich die Belastungsziffern bezogen, wieder. In den nächsten beiden Spalten ist die tatsächliche Periodenlänge (Λ) im Vergleich zu Δ sowie auch in ihrer Zahlengröße angeführt. Die letzte Spalte zeigt eine neue Numerierung nach der Größe von Λ.

Tabelle XIV.

Belastung von Ebenenserien.

Nr.	Flächenform	J	Δ	Λ	Λ	Nr.
1	110	60,33	4,21	Δ	= 4,21	1
2	010	31,36	8,12	$\Delta/_2$	= 4,06	2
3	111	74,33	3,42	Δ	= 3,42	3
4	021	76,28	3,33	Δ	= 3,33	4
5	012	92,35	$2,74_5$	Δ	= 2,74	5
6	011	53,56	4,74	$\Delta/_2$	= 2,37	11
7	130	107,2	2,47	Δ	= 2,47	8
8	100	51,55	4,93	$\Delta/_2$	= 2,46	9
9	001	43,42	5,98	$\Delta/_2$	= 2,49	7
10	102	101,0	2,52	Δ	= 2,52	6
11	112	105,6	2,42	Δ	= 2,42	10
12	031	103,6	2,46	$\Delta/_2$	= 1,22	22
13	121	92,96	2,76	$\Delta/_2$	= 1,38	20
14	041	132,7	$1,91_5$	Δ	= $1,91_5$	13
15	211	116,2	2,18	$\Delta/_2$	= 1,09	24
16	113	143,6	$1,75_5$	Δ	= 1,75	15
17	051	162,7	$1,58_5$	$\Delta/_2$	= 0,79	28
18	061	193,1	$1,31_5$	$\Delta/_2$	= 0,66	30
19	131	115,7	2,18	$\Delta/_2$	= 1,09	25
20	101	67,40	3,74	$\Delta/_2$	= 1,87	14
21	023	144,6	$1,74_5$	Δ	= 1,74	16
22	071	219,5	$1,14_5$	$\Delta/_2$	= 0,57	31
23	302	177,4	$1,43_5$	Δ	= $1,43_5$	18
24	331	186,1	$1,36_5$	$\Delta/_2$	= 0,68	29
25	120	81,15	3,13	Δ	= 1,56	17
26	201	111,9	2,23	$\Delta/_2$	= 1,12	23
27	114	183,9	$1,38_5$	Δ	= $1,38_5$	19
28	221	128,3	$1,98_5$	Δ	= $1,24_5$	12
29	134	204,2	$1,24_5$	Δ	= $1,24_5$	21
30	103	140,1	1,81	$\Delta/_2$	= $0,90_5$	27
31	324	240,9	$1,05_5$	Δ	= $1,05_5$	26

Für alle Berechnungen in der Tabelle XIV wurde das Verhältnis $\Sigma L_{(hkl)} / \Delta_{(hkl)} = 0{,}0316 \,.\, (A_1, A_2)$ als Rechenprobe festgestellt. Zum Vergleich der Identitätsabstände wurden die Werte von Λ verwendet. Es ergibt sich dadurch auch rechnerisch eine bessere Übereinstimmung. Jedoch läßt sich nur bei den wichtigsten Flächenformen eine Beziehung zwischen Ebenenserien und Formenwichtigkeit herstellen.

Die beiden wichtigsten Formen (110) und (010), deren Persistenzwerte mit ungefähr 92% an erster Stelle stehen, zeigen beide auffallend hohe Werte von Λ mit je über 4 Å, die sich ebenfalls wenig unterscheiden. Die Werte von Λ nehmen ziemlich schnell ab. Von Bedeutung für die Persistenz scheinen nur die der ersten Formen zu sein, deren Λ über 2 Å groß ist. Von diesen ersten Formen stimmen die Zahlen der ersten und der letzten Spalte, welche die Reihenfolge der Flächenformen nach Persistenzwerten und nach Periodenlängen angeben, bei den ersten fünf Formen (110), (010), (111), (021) und (012) einzeln überein, bei den nächsten 6 Formen (011), (130), (100), (001), (102) und (112) noch in ihrer

Gesamtheit. Für diese elf Formen wird man daher bei der Erörterung der Flächenformenpersistenzen den Periodenabstand in Betracht ziehen dürfen.

Bei allen weiteren Formen tritt infolge der großen Verschiedenheit der Kantenlängen des Elementarparallelepipedes der nominelle Wert der Indizes zu stark in Erscheinung. Hier läßt sich kein Vergleich mehr durchführen, wie es sich schon aus dem Durcheinander in der weiteren Reihenfolge der Zahlen der ersten und der letzten Spalte der angeführten Tabelle XIV zeigt. Wenn man diese Abstände für die weiteren Flächenformen mit noch geringeren Persistenzwerten ebenfalls berechnete, so ordnen sich diese zum Teil noch zwischen die Werte der berechneten ersten 31 Formen ein. Ein Beispiel hierfür sei an der Form (210) aufgezeigt. Diese Form kommt ihrem Persistenzwert nach erst viel später, sie hat aber einen verhältnismäßig hohen Δ-Wert. Für diese Form gilt: $J = 107{,}8$, $\Delta = 2{,}48$, $\Lambda = \Delta/2$.

d) Aufbau der Ebenenserien.

In den vorigen Abschnitten waren die Ebenenserien zunächst bezüglich der Belastung der einzelnen Ebenen in ihrem Verhältnis untereinander untersucht worden; sodann wurden sie nach der Größe ihrer Identitätsabstände geordnet und zusammengestellt. Im Folgenden soll nun der Aufbau der Ebenenserien betrachtet werden. Hierbei ist von Wichtigkeit, daß der Faktor Q ($= 1/J_{(hkl)}$), der bisher aus Gründen der Übersichtlichkeit bei der Berechnung außer Acht gelassen wurde, und der das Verhältnis der berechneten Belastungen zum Flächeninhalt des vorausgesetzten kleinen Parallelogramms festlegt, jetzt mitberücksichtigt wird. Dadurch treten erst die tatsächlichen Größenverhältnisse der Ebenenserien zu Tage. Hier fallen auch die Begriffe der „einfach- oder „mehrfachbelasteten" Ebenen fort, da es nicht darauf ankommt, wieviel Mas-

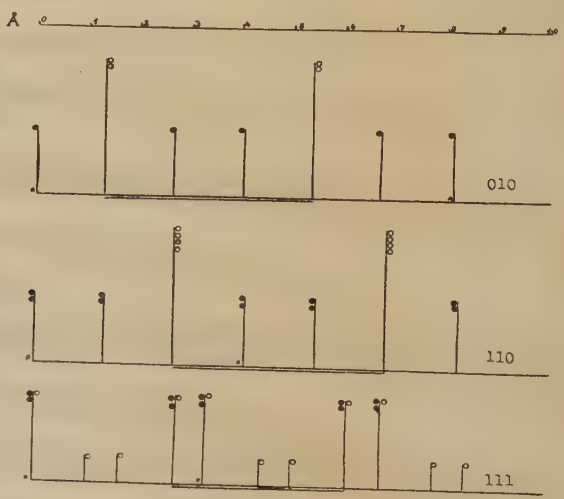


Abbildung 16 a—c.

Mit x — — — x ist der berechnete Abstand identischer Ebenen, durch Unterstreichen der tatsächliche Identitätsabstand bezeichnet. (Gerechnet von der ersten höchstbelasteten Ebene.)

seupunkte auf ein bestimmtes Elementarparallelogramm entfallen, sondern wie groß die tatsächliche Belastung der Ebenen im richtigen Verhältnis zueinander ist. Einige der wichtigeren Ebenenserien werden jetzt, unter den besagten Voraussetzungen, nebeneinander aufgezeichnet. Sie sind in der Abbildung 16 dargestellt.

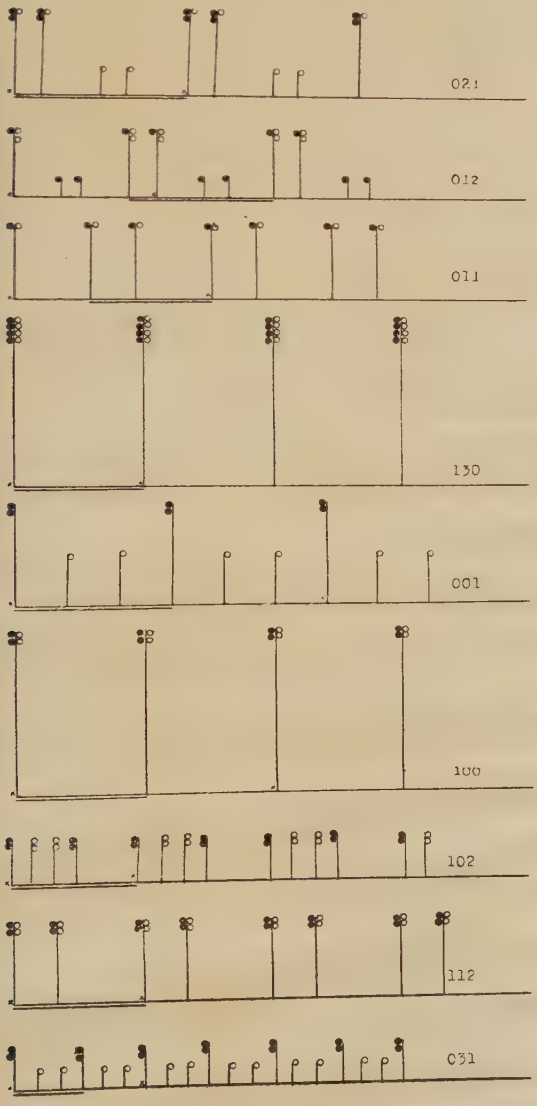


Abbildung 16 d—m.

Hierbei stellt sich erst die wirkliche Belastung der einzelnen Ebenen heraus. Deutlich läßt sich auch jetzt die Bedeutung des Quotienten $\Sigma L / \Delta$ erkennen, der vorher nur von rechnerischer Bedeutung war. Es zeigt sich folgendes: Je stärker die Ebenen belastet sind, umso größer können ihre Abstände untereinander sein, umgekehrt tritt bei geringbelasteten Ebenen eine schnelle Aufeinanderfolge der Ebenen auf. Bei den in der Abbildung 15 nicht mehr zur Darstellung gebrachten Ebenenserien der niedriger persistenten Formen herrschen in dichter Folge erscheinende, gering belastete Ebenen vor.

4. Vergleichende Betrachtung zwischen Morphologie und Struktur.

Die Bedeutung der im vorangegangenen Abschnitt durchgeführten Berechnungen für die Ausbildung der Kristalle läßt sich im Vergleich mit den Häufigkeitswerten entsprechender Flächen und Kanten in ihrer zahlenmäßigen Ermittlung, deren Aufstellung in den ersten Abschnitten in mehreren Tabellen erfolgt ist, am deutlichsten herausstellen und am günstigsten zeigen.

Bereits bei den Übersichten der Ebenenserien sowie der Gittergeraden wurde auf die häufige Abhängigkeit einer Form im äußeren Auftreten von der Dichte der Belastung der Gittergeraden einerseits und der Größe der Abstände identischer Ebenen andererseits hingewiesen. Es braucht dabei nicht näher erörtert zu werden, daß wichtige Kanten im allgemeinen Schnittkanten ebenfalls wichtiger Ebenen darstellen und somit diesen Ebenen auch angehören. Umgekehrt wiederum wird die Lage wichtiger Kanten das Auftreten von Ebenen bedingen.

Eine vollkommene Abhängigkeit der Reihenfolge in der Bedeutung der auftretenden Formen konnte jedoch von den errechneten Belastungsverhältnissen der Struktur nicht nachgewiesen werden; nur bei den persistentesten Flächenformen, und nur unvollkommen bei einigen Gittergeraden, konnte eine direkte Abhängigkeit der Persistenzwerte von den strukturellen Eigenschaften festgestellt werden. Sie ist in den Tabellen XII und XIV zum Ausdruck gebracht worden. Dort sind die besprochenen Formen sowohl in der Reihenfolge ihrer morphologischen Bedeutung als auch nach ihrer strukturtheoretischen Wichtigkeit aufgeführt.

Diese Unterschiede im Vergleich von morphologischen und strukturellen Eigenschaften lassen darauf schließen, daß bei den rechnerischen Betrachtungen Tatsachen außer Betracht geblieben sind, die für die Kristallausbildung von Wichtigkeit sein könnten.

Man könnte dabei berücksichtigen, daß bei der Berechnung der Gitterschwerpunkte die CO_3-Gruppen nur in ihren Schwerpunkten betrachtet wurden. Hierzu waren die Unterschiede im Gewicht der einzelnen Schwerpunkte in der Tabelle XIII zusammengestellt und dort auch erörtert worden.

Von Wichtigkeit ist nun besonders, daß nicht einzelne Ebenen, sondern stets Ebenenserien betrachtet wurden, und dementsprechend nicht die

einzelnen Gittergeraden allein, sondern ebenfalls serienmäßig zur Aufstellung kamen, indem acht durch verschiedene Elementargitteranfangspunkte gegebene Scharen von Gittergeraden gleicher Parallelität aufgestellt wurden.

Dadurch wurde Folgendes erreicht: Jede Ebenenserie ist im identischen Abstand ebensooft mit Metallatomen wie auch CO_3-Schwerpunkten belastet. Dadurch wird eine mögliche Verschiedenheit in der Bedeutung der beiden Sorten von Schwerpunkten insofern ausgeglichen, als dieser Unterschied bei sämtlichen Ebenenserien auftreten müßte, so daß die relative Belastung, ebenso wie auch der Identitätsabstand, vollkommen gewahrt bliebe.

Die gleiche Tatsache ist für die Gittergeraden maßgebend. Durch eine Schar von Gittergeraden (eine Gerade mit sämtlichen ihr parallelen Geraden) werden sämtliche Massenpunkte des gegebenen Kristallgitters erfaßt. Daher enthält auch jede Gittergeradenschar ebensoviele Schwerpunkte der einen wie auch der anderen Art. Dieses ist der Fall unter der gegebenen Voraussetzung, daß das Gitter an sich durch gleichviel Metallatome und CO_3-Schwerpunkte ausgezeichnet ist.

Der mögliche Einfluß, der durch die Lage der Sauerstoffatome im Gitter bedingt ist, kann in Hinblick auf die Tatsache, daß bereits der unterschiedliche Charakter im Gewicht der Gitterschwerpunkte in seinem Einfluß nicht nachgewiesen werden konnte, nur von ganz geringer Bedeutung sein, die für die gewählten statistischen Betrachtungen ohne Belang ist.

Eine anschauliche Darstellung für den pseudohexagonalen Aufbau der Kristalle wird durch die Abbildung 16 gegeben. Es fällt dabei sofort auf, daß die Gitterebenenserien sich entsprechender Flächenformen einen fast gleichen Aufbau zeigen. So stimmen die Formen des pseudohexagonalen Prismas, (010) und (110), im Aufbau der Ebenenserien sowie in deren Größenverhältnissen fast vollkommen überein. Die wichtigste pseudohexagonale Pyramide, (111) und (021), gibt einen ebensoguten Beleg hierfür, indem diese beiden Formen einen fast gleichen Aufbau ihrer Ebenenserien und ebensolche Ebenenbelastung, die mit dem Abstand identischer Ebenen stets in einem konstanten Verhältnis steht, aufweisen.

Den auffälligsten Aufbau, und darin ebenfalls ihre Übereinstimmung, zeigen die Serien der Formen des verwendeten Prismas, (100) und (130). Diese Serien besitzen nur e i n e Art von Ebenen, die mit Metallatomen und CO_3-Gruppenschwerpunkten gleichstark belastet sind. Der Abstand zweier Ebenen dieser Serien ist stets zugleich der Identitätsabstand, ohne daß Zwischenebenen auftreten. Diese Ebenen sind unter allen betrachteten sämtlicher Ebenenserien am höchsten belastet, und sind somit als dichtestbesetzte Ebenen, die im Raumgitter der untersuchten Mineralgruppe überhaupt auftreten können, anzusehen. Trotz dieses ausgezeichneten Aufbaues der Formen (100) und (130) kommt ihnen aber keine besonders bedeutsame morphologische Bedeutung zu. Es wäre denkbar, daß dieser

besonders einfache, gleichförmige Aufbau geeignet wäre, Zwillingsbildung an den Flächen dieser Formen (100) und (130) hervorzurufen. Die Form (130) tritt als Zwillingsebene auf. Doch darf man den besprochenen Aufbau nicht als die wesentliche Ursache ansehen, denn die bereits angeführte Ebenenserie der Form (110) zeigt einen gänzlich verschiedenen Aufbau; sie tritt aber trotzdem als Zwillingebene bedeutend häufiger auf.

Auch für die Spaltbarkeit, für die die genannten Formen mit den sehr großen Gitterebenenabständen vorgezeichnet zu sein scheinen, kommen sie nicht in Frage. Diese physikalische Eigenschaft ist lediglich den Formen (110) und (021) vorbehalten. Hierfür ließ sich jedoch keine strukturelle Grundlage im Aufbau ihrer Ebenenserien festlegen.

Auch andere Formen, die sich zu pseudohexagonalen Formen ergänzen, zeigen die vorhin erwähnte Übereinstimmung. Hier seien nur noch die Formen (011) und (112) genannt. In gleicher Weise ließen sich noch weitere derartiger zusammengehöriger Formen für die pseudohexagonale Ausbildung der Kristalle anführen.

Diese Symmetrieeigenschaften, bezw. Ähnlichkeiten im Aufbau der Ebenenserien bestimmter Formen, galten für Einlinge. Man kann nun leicht daraus entnehmen, daß derartige pseudohexagonale Individuen sich sehr gut zu Zwillings- und Drillingsgruppen zusammenschließen können, besonders auch deshalb, weil der Prismenwinkel nur um Weniges von 60° abweicht. Vom geometrischen Standpunkte aus kommen daher als Zwillingsebenen solche Flächen in Frage, die einem pseudohexagonalen Prisma (Prisma oder verwendeten Prisma) angehören. Für die Zwillingsbildung sind daher die Formen (100) und (130) des Prismas und (110) und (010) des verwendeten Prismas von besonderer Wichtigkeit.

Die Beobachtungen der Literatur sowie auch der eigenen Messungen ergaben, daß (110) als Zwillingsebene sehr häufig auftritt, seltener (130), die Formen (100) und (010) dagegen als Zwillingsflächen überhaupt nicht beobachtet wurden. Diese ungleichmäßige Verteilung in der Häufigkeit ihres Auftretens konnte auf diese geometrische Weise nicht vollkommen erklärt werden. Den beiden Endflächenformen (100) und (010) kommt eine besondere strukturelle Bedeutung zu, die ihr Auftreten als Zwillingsebene verhindert. Der Grund dazu liegt darin, daß Zwillinge nach (100) und ebenso solche nach (010) in ihrer Symmetrie Einlingen vollkommen entsprechen würden, so daß sie als Zwillinge überhaupt nicht erkennbar sind. Diese beiden Flächenformen kommen daher als Zwillingsebenen überhaupt nicht in Betracht.

Die beiden anderen genannten Formen (110) und (130) treten als Zwillingsebenen auf; davon tritt jedoch die Form (130) sehr zurück. Bei Aragonit, der fast nur in Zwillingen vorkommt, wird stets (110) als Zwillingsebene angegeben. Bei Cerussit überwiegt die Form (110) als Zwillingsfläche bei weitem. Auch für Strontianit und Witherit werden fast nur Zwillinge nach (110) angegeben. Das somit festgestellte Zurücktreten der Zwillingsfläche (130) hinter (110) konnte mit strukturell-

geometrischen Feststellungen nicht begründet werden. Hier liegen noch Tatsachen zu Grunde, die mit den bisherigen Unterlagen noch nicht begründet werden konnten.

Für den morphologischen Aufbau der Kristalle zeigte sich somit in vielfacher Hinsicht die Abhängigkeit von der inneren Struktur. Sie läßt sich besonders da, wo die Gesetzmäßigkeit augenfällig erscheint, gut herausstellen.

Hier läßt sich zum Vergleich anführen, daß die entsprechenden Sulfate der gleichen Metalle, die ebenfalls rhombisch kristallisierenden Mineralien der Barytgruppe, überhaupt keine Neigung zur Zwillingsbildung zeigen. W. Schilly (18) führt in seiner Arbeit an, „daß von keinem der drei Mineralien der Barytgruppe Wachstumszwillinge bekannt geworden sind." Diese Tatsache läßt sich im Wesentlichen damit erklären, daß hier andere Winkelverhältnisse und ein ganz verschiedener Gitteraufbau vorliegt, der eine natürliche Verzwillingung in der Art der Zwillingsbildung der Aragonitgruppe nicht zuläßt. Insbesondere fehlt bei diesen Mineralien (Anglesit, Baryt und Coelestin) der ausgesprochene pseudohexagonale Charakter, wie ihn die Aragonitstruktur zeigt. Die in Ramdohr's Neuauflage (1936) von Klockmann's Lehrbuch der Mineralogie als sehr selten erwähnten Wachstumszwillinge von Schwerspat dürften wohl als Druckzwillinge zu erklären sein.

Daß aber die Struktur und die errechneten Beziehungen nicht von alleinigem Einfluß auf die äußere Gestaltung der Mineralien sind, sei im Weiteren durch die folgenden Abschnitte, in denen andere, äußere Bedingungen, die die Kristalle beeinflussen, aufgeführt und dargelegt.

IV. MORPHOLOGIE UND PARAGENESE.

Für den Cerussit, dem die Untersuchungen dieser Arbeit in besonders hohem Maße galten, konnten bei der Vermessung der Kristalle sowie bei der Beobachtung der verschiedenen Cerussitstufen mehrere Einzelheiten festgestellt werden. Sie bezogen sich vorwiegend auf die Tracht, während der Habitus der Kristalle durch statistische Angaben in früheren Abschnitten bereits festgelegt war.

1. Morphologische Bemerkungen.

Einen wesentlichen Anteil an den Untersuchungen hatte die Bestimmung der Paragenese der einzelnen Kristallstufen. Aber auch minerogenetische Feststellungen sowie rein habituelle und trachtmäßige Erscheinungen, die sich den Tabellen des ersten Teiles dieser Arbeit nicht entnehmen ließen, konnten untersucht werden. Die Ergebnisse dieser Ermittlungen werden im folgenden Abschnitt dargelegt.

a) Formenzusammenstellung.

Bei der Zusammenstellung der zunächst gemessenen 42 Cerussite ergab sich folgende Übersicht: Es wurden daran insgesamt 52 Formen beobachtet, die sich folgendermaßen verteilen. Alle 3 Endflächen (3) treten

auf. Danach sind am zahlreichsten die Längsprismenformen vertreten mit 26 (23) vorhandenen Formen. An Vertikalprismenformen treten 13 (6) auf; 2 (5) Querprismen sind vorhanden sowie 8 (12) Bipyramiden. Die hier in Klammern gefaßten Zahlen sind von L. Tokody (22) für die ungarischen Cerussite angegebenen Werte. Sie wurden hier mit angeführt, um einen Vergleich mit den Ergebnissen dieser in ähnlicher Weise durchgeführten Vermessung von Cerussiten, die sich allerdings auf die Fundorte eines bestimmten Gebietes beschränkt, zu erhalten. Die Bedeutung der einzelnen Formen bei den untersuchten Kristallen ist auch den Angaben der Arbeit von Tokody sehr ähnlich, sie weicht aber doch, wie bereits der Einzelbeschreibung der Typen zeigt, in mehreren Teilen davon ab. Fast stets war (010) die trachtbeherrschend ausgebildete Form.

Unter den 13 Formen der Vertikalprismenzone sind nur zwei von größerer Bedeutung, nämlich (110) und (130). Die übrigen treten zum großen Teil nur als schmale Flächen, teilweise als Vizinalen auf. Eine dieser Formen mit hohen Indiziesziffern war nur einmal in schmalen Streifen einer schwachen Riefung zu beobachten. Insgesamt sind unter den gemessenen Formen 10 Formen nur ein einziges Mal beobachtet worden, und sind teilweise als unsicher zu bezeichnen. Die Form (120) trat zweimal auf; in der Zone [010] kamen nur zwei verschiedene Prismenformen vor.

Anders sind die Verhältnisse in der Längsprismenzone. Hier treten die meisten Flächen auf. Durch sehr schmale Ausbildung infolge starker Zonenriefung (Kombinationsriefung tritt nur selten auf) sind viele Formen häufig schlecht genau zu messen. Viele Formen, die als Vizinalen in der Nachbarschaft stärker hervortretender Flächen nur schwache Reflexe im Goniometer ergaben, oder sich als blasser Schimmer über einen größeren Winkelbereich erstreckten, mußten als Zufallsflächen angesehen werden und sind in den Tabellen nicht mit berücksichtigt worden. Diese letztgenannten Formen sind vielleicht durch Abrundung entstanden und konnten auch bei der Messung nicht genau festgelegt werden. 16 Formen der Zone traten nur ein- bis zweimal auf. Die Häufigkeit der übrigen Formen ist in einem früheren Teil der Arbeit bereits festgehalten worden.

b) Vermessung der Cerussitkristalle.

An sich ist bereits der Cerussit als sehr flächenreich beschrieben worden. Die Angaben der Literatur ließen vermuten, daß bei einfachen Kristallen, d. h. solchen mit wenigen Formen, besonders die wichtigen Formen auftreten. Die Ergebnisse der Messung bestätigten diese Vermutung. Hierbei fiel bald die Tatsache auf, daß zu einer groß ausgebildeten Fläche, etwa der Abplattungsfläche eines plattigen Kristalls, die Gegenfläche zu fehlen schien, wohl aber eine gut ausgebildete Fläche vorhanden war, die von der theoretisch richtigen Gegenfläche um einige Grade in ihrer Lage abwich. Als Beispiel möge die Abbildung 17 dienen, die in schematisierter Weise diese Ergebnisse darstellt.

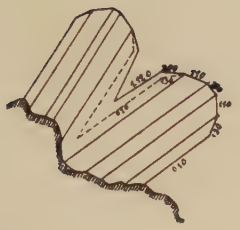


Abbildung 17.
Habitus verwachsener Cerussitkristalle.

Da gerade beim Cerussit die meisten Kriställchen verzwillingt waren, oder sich in Parallelverwachsung befanden, wurde auch besonders die gegenseitige Lage dieser „Vizinalflächen" beobachtet, wie sie besonders an stark miteinander verwachsenen Kristallaggregaten vorkamen.

Es scheinen die Bestrebungen zu bestehen, die zwischen zwei Kristallindividuen entstandenen, einspringenden Winkel, wenn nicht auszufüllen, so doch nach Möglichkeit etwas abzuschwächen. Die Tatsache, daß Zwillinge in der gemeinsamen Richtung rascher wachsen, als es bei Einlingen der Fall sein würde, konnte bereits von F. Becke in dem Lehrbuch der Mineralogie angeführt werden. Wie er in seinen Abbildungen darlegt, werden einspringende Winkel nicht nur ausgefüllt, sondern diese Stellen sogar überhöht durch die größere Wachstumsgeschwindigkeit. „Nicht selten ist mit dieser Änderung der Gestalt auch das Auftreten neuer Krystallflächen verbunden, die den einfachen Krystallen fehlen." Eigenartig ist jedoch für den Cerussit, daß bei diesem Mineral nur eine schwache Anfüllung der einspringenden Winkel eintritt, so daß recht hoch indizierte Flächenformen entstehen können.

Diese Tatsache scheint auch eine Ursache zu sein für den sehr großen Formenreichtum des Cerussits, wenn natürlich wieder der Grund hierfür im inneren Strukturaufbau liegen muß.

Bei dieser Entwicklung fehlen natürlich oft einfach indizierte Bezugsflächen bei der Bestimmung der Pyramidenflächen. Diese selbst schienen jedoch nie durch derartige Vizinalflächen ersetzt zu sein, denn solche Formen mit komplizierten Indizes traten höchst selten auf.

Ähnliche Beobachtungen wurden auch von K. Obenauer am Aragonit gemacht.

Bei parallelen Verwachsungen sind einseitige Verzerrungen und Ausbildungen der Kristalle im gleichen Sinne zu beobachten. Obwohl der Cerussit häufig plattig, wabenartig verwachsen oder spießig vorkommt, scheint das Bestreben zu bestehen, die Individuen als Ganzes etwas rundlicher zu gestalten. Dies wurde schon bei der Frage der häufigen Vizinalflächenbildung vermerkt. Die Erklärung dafür liegt wohl zum Teil darin, daß ein plattiges oder stengeliges Mineral, das durch besondere genetische Bedingungen in dieser Tracht wächst, nur dadurch die Mineral-

substanz anhäufen kann, daß mehrere Individuen sich zu einer Gruppe vereinigen.

Die in der Abbildung 18 wiedergegebene Ausbildung parallel gewachsener Kristalle zeigt eine Gruppe in schematischer Darstellung, wie sie sich an einer Stufe von Friedrichsegen besonders häufig vorfand.

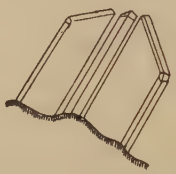


Abbildung 18.
Tracht parallel gewachsener Cerussitkristalle.

An der äußeren Seite der Kristalgruppe ist z. B. eine Pyramidenfläche, etwa (111), trachtbeherrschend groß ausgebildet, während sie nach dem Nachbarkristall zu nur verschwindend klein ist. Außerdem ist eine solche Fläche dann oft im Reflexgoniometer nur schlecht meßbar, da sie, vielleicht durch kleine Anwachsstreifen und -pyramiden, aufgerauht ist. Manchmal zeigt sie auch durch Kombinationsriefung, etwa mit (001), eine Neigung zur Abflachung, wodurch die eigentlichen Flächenstreifen noch geringfügiger werden. Auf diese Weise wird eine Kristallgruppe erzeugt, die, als Ganzes genommen, einen isometrischen Kristall darstellen könnte.

c) Vermessung neuer Formen.

Win früheren Abschnitten bereits dargelegt wurde, konnte eine Reihe neuer Formen beobachtet werden. In dem Abschnitt, der eine Übersicht der bei Cerussit beobachteten Formen gibt, wurden diese neuen Formen bereits aufgezählt. Es sind die Formen (1.12.0), (083), (540), (014), (053), (0.11.1), (2.11.0), (290), (203), (251), (0.1.28), (0.17.18), (1.170), (1.22.0), (0.63.1) und (0.30.1). Die vermessenen Winkelwerte sind in der Tabelle XV zusammengestellt.

Die aufgeführten Formen dürfen nach den Beobachtungen durchaus nicht alle als sicher angegeben werden. Ihre Einmessung ist auch abgesehen von den Unterschieden gegenüber den berechneten Werten sehr verschieden. Zunächst sind die Formen (0.63.1) und (0.30.1) auszuscheiden. Sie besitzen sehr hohe Indizes; zudem wurden sie beide nur ein einziges Mal an einem Kristall mit sehr schwachen Reflexen beobachtet und sind als zufällige Vizinalen anzusehen. Ähnlich liegt die Beobachtung für die Formen (1.17.0) und (0.17.18). Ihre Reflexe waren auch nur sehr schwach messbar. Auch die Formen (1.22.0) und (0.1.28) besitzen recht hohe Indizes, konnten dafür aber etwas genauer vermessen werden. Von den noch verbleibenden zehn Formen wiesen nur noch die Flächen von (0.11.1) und (540) sehr schwache Reflexe auf; (540) wurde nur an einem Kristall zweimal beobachtet. Der Winkelwert der sehr

Tabelle XV.

Neue Formen des Cerussits.

Form,	Winkelverhältnis,		Zahl und Art der Beobachtungen
1.12.0	010 : 1.12.0	= 7°40'	Eine Beobachtung
083	010 : 083	= 27°10'	
		= 26°....	An zwei Kristallen gemessen
540	110 : 540	= 4°15'	Beide Messungen an demselben Kristall, schwache Reflexe
		= 4°30'	
014	014 : 010	= 78°20'	An einem Kristall 4 Beobachtungen, an weiterem Kristall 1 Beobachtung
	014 : 001	= 10°30'	
053	010 : 053	= 38°55'	
		= 39°20'	An 4 Kristallen je einmal beobachtet.
0.11.1	010 : 0.11.1	= 7°10'	An zwei verschiedenen Kristallen gemessen
		= 7°15'	
2.11.0	010 : 2.11.0	= 17°—	Eine Beobachtung
290	010 : 290	= 21° 5'	„ „
203	100 : 203	= 35°40'	„ „
251	051 : 251	= 32°55'	„ „
0.1.28	001 : 0.1.28	= 1°20'	Zwei Beoobachtungen an dem gleichen Kristall
		= 1°35'	
0.17.18	010 : 017.18	= 55°45'	Sehr schwacher Reflex
1.17.0	010 : 1.17.0	= 5°30'	Sehr ungenau zu messen
1.22.0	010 : 1.22.0	= 4°15'	
0.63.1	010 : 063,1	= 1°15'	Sehr schwacher Reflex
0.30.1	010 : 0.30.1	= 2°40'	„ „ am gleichen Kristall

schwachen Reflexe ist ungenau und paßt vielleicht besser zu den Indizes (25.21.0). Diese Form ist daher ebenfalls als unsicher zu bezeichnen.

Die Form (0.11.1) konnte an zwei verschiedenen Kristallen beobachtet werden. Für die weiteren Formen lagen günstigere Messungen vor. Somit dürften wohl neun Formen als mit größerer Sicherheit vermessen angegeben werden, um an die in Hintze's Handbuch der Mineralogie aufgeführten Flächenformen des Cerussits angeschlossen werden zu können.

Es handelt sich somit noch um die Formen (083), (014), (053), (0.11.1), (2.11.0), (290), (203), (251) und (1.12.0) Unter diesen waren die fünf letztgenannten Formen nur je an einem Kristall beobachtet worden. Der Flächenreichtum des Cerussits ist damit wiederum um mehrere neue Formen vergrößert worden.

d) Beobachtung eines besonderen Zwillings.

Unter den vermessenen Kristallen war ein Zwilling besonders interessant, der in seinen Einzelheiten im Folgenden beschrieben werden soll.

Das Kristallgebilde ist ein Zwilling von pseudohexagonaler Ausbildung, dessen Einzelindividuen durcheinander gewachsen sind. Makroskopisch betrachtet, erscheint eine hexagonale Pyramide mit annähernd gleichmäßigen Flächen. Bei genauerem Zusehen im Goniometer ergibt sich jedoch, daß die einzelnen Flächen der pseudohexagonalen Pyramide nicht gleichmäßig einspiegeln, sondern nur unregelmäßige Flächenteile, der übrige Teil der Flächen aber unter einem davon ver-

schiedenen Winkel. Der genauere Vergleich der Winkel ergibt, daß diese Pyramidenflächen einmal die Fläche (111) des einen und (021) des anderen Individuums darstellen, wobei mit unregelmäßiger Begrenzung ein Teil der einen, der Rest der anderen Form angehört.

An Hand des gezeichneten Kopfbildes in Abbildung 19 läßt sich die räumliche Anordnung der Einzelindividuen erkennen. Was die Beteiligung der beiden Einzelindividuen an der Bildung der pseudohexagonalen Pyramidenflächen anbelangt, so ist sie sehr ähnlich dem Kopfbild eines Quarzkristalls, der zwei durcheinandergewachsene Zwillingsindividuen vereinigt, die sich äußerlich nur dadurch erkennen lassen, daß etwa die Flächenanteile des einen Individuums aufgerauht sind, während der übrige Teil glänzend erscheint.

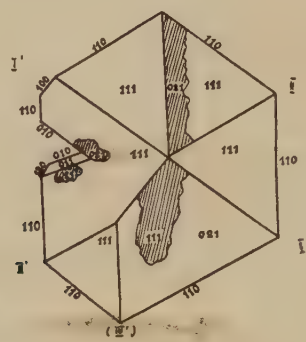


Abbildung 19.
Kopfbild eines Cerussitzwillings.

Die Begrenzung der jeweiligen Flächenanteile ist dabei ebenso unregelmäßig. Von Cerussit liegt eine Beschreibung eines derartigen Zwillings nicht vor. Wohl sind aber vom Aragonit unregelmäßige Durchwachsungen beschrieben worden.

Andere Flächen außer (110), (111) und (021) sind nur an dem einspringenden Winkel (vergl. Abbildung 19) sowie einer weiteren, kantenabstumpfenden Form an einer Ecke beobachtbar. Unklar blieb zunächst die Tatsache, daß auch auf d e r Fläche, an welcher der einspringende Winkel liegt, kleine Flächenteile schief liegen, und somit anders einspiegeln. Nach dem im Vergleich mit der Prismenzone gemessenen Winkel ist es eine Form (021). Sie kann natürlich dann zu keinem der beiden Hauptindividuen gehören (I und II der Abbildung); infolgedessen muß sie noch ein drittes Individuum, von dem allerdings sonst keine weiteren Formen ausgebildet sind, darstellen. Die Richtung seiner Längsachse würde dann etwa in der Richtung der dritten Diagonale des pseudohexagonalen Kristalls liegen. Das Individuum III ist mit dem Individuum II verzwillingt. In beiden Fällen der Verzwillingung ist eine ausgebildete Fläche (110) Zwillingsebene.

2. *Paragenetische Darlegungen.*

Während in den Anfangsgründen der Mineralogie die Mineralien einzeln betrachtet wurden und infolgedessen nach äußeren Gesichtspunkten unterschieden wurden, wofür oft mehrere Namen für das gleiche Mineral zeugen, liegt heute das Bestreben vor, aus Minerogenese und Paragenese Beziehungen zu Tracht und Habitus der Kristalle abzuleiten.

a) Zusammenstellung der Paragenesen.

Eine Zusammenstellung der paragenetischen Einflüsse wurde beim Cerussit durchzuführen versucht. Eine vollkommene Erklärung aller Beziehungen bleibt jedoch vorläufig noch offen. Der Cerussit ist ein typisches Verwitterungsmineral, das für das Ausgehende von Bleiglanzlagerstätten charakteristisch ist, und sich besonders im Eisernen Hut von Gängen findet. Im Folgenden seien einige häufige Paragenesen zusammengestellt.

In den meisten Fällen ist der Cerussit abhängig von Bleiglanzlagerstätten, manchmal ist er auch noch mit diesem Erz unmittelbar verbunden. Er kann jedoch auch herausgelöst sein und, wie z. B. im Sandstein (Buntsandstein) in der Eifel, als Bindemittel und Neubildung erscheinen.

Paragenetisch und morphologisch lassen sich nun folgende Ausbildungen unterscheiden:

1. Eins der häufigsten Vorkommen ist das zusammen mit Brauneisen. Die nach (010) plattigen Kristalle, fast nur Durchkreuzungszwillinge und Drillinge nach (110), sind oft auf Brauneisen aufgewachsen und gewöhnlich auch mit solchem überzogen. Unter ihnen sind zwei wichtige Ausbildungstypen vorhanden. Beide plattig nach der Längsfläche b ausgebildet, werden sie am besten durch ihren Längsschnitt charakterisiert. Die eine Form erscheint dann rhombisch mit der c-Achse als längster

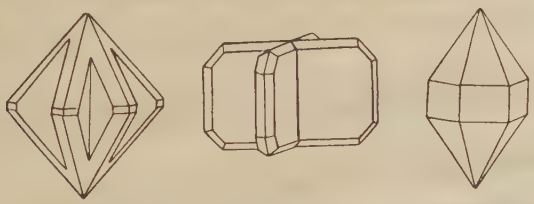


Abbildung 20—22. Ausbildungstypen des Cerussits.

Ausdehnung, die andere fast rechteckig mit wenig abgestumpften Ecken und mehr oder weniger großer Streckung in Richtung der a-Achse. Diese Ausbildungsarten sind besonders für die Vorkommen des Lahngebietes, insbesondere Friedrichsegen, charakteristisch. Sie sind in den Abbildungen 20 und 21 in ihrer häufigsten Tracht dargestellt.

An anderen Fundstellen sind diese, meist klaren Kristalle ähnlicher Ausbildung auf Bleiglanz und anderen Erzen des Ganges aufgewachsen oder noch mit diesen Bestandteilen durchsetzt. Dabei werden bei der Kristallisation des Cerussits anscheinend Bleiglanzreste und kleine Teile von

Brauneisen aufgenommen, so daß klare Kristalle mit trüben, durch viele Einschlüsse gelblich-braunen Cerussiten und mit Schwarzbleierz, durch Bleiglanz vollkommen dunkel verfärbtem Cerussit, oft verwachsen sind.

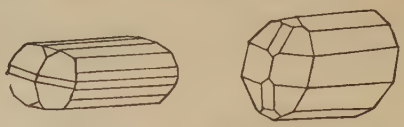


Abbildung 23—24. Ausbildungstypen des Cerussits.

2. Eine weitere Ausbildungsart, die sich besonders an den Stufen von Przibram in Böhmen zeigte, ist das Auftreten in pseudohexagonalen Formen von Drillingen, die auf Bleiglanz aufgewachsen sind. Eine ideale Ausbildung stellt die Abbildung 22 vor. Die Kristalle sind dabei meistens von schmutzig-grauer Farbe. Die Drillinge sind im allgemeinen nach der c-Achse gestreckt und nicht so flächenreich wie die Kristalle anderer Vorkommen.

Die Kristalle dieses Fundortes können mit denen von L. T o k o d y (22) beschriebenen Cerussiten ungarischer Vorkommen,. die man gerne zum Vergleich heranziehen möchte, nicht gleichgestellt werden, da schon durch die vielfach in der Paragenese verschiedenen Stücke ein Unterschied auftritt. Wie noch später ausgeführt wird, ist fast durchwegs für eine bestimmte Paragenese auch eine bestimmte Kristallausbildung zutreffend.

3. Den Übergang zu der nächsten Ausbildungsart, für die das Mitvorkommen von Malachit besonders charakteristisch ist, bilden die mehr oder weniger nach der a-Achse gestreckten Kristalle, die zwischen Bleiglanzresten, zum Teil auch zwischen Malachitkriställchen vorkommen. Ihre Tracht ist in der Abbildung 23 wiedergegeben. Die paragenetische Aufeinanderfolge der verschiedenen Mineralien soll nachher besonders erörtert werden.

4. Es treten weiterhin, besonders vergesellschaftet mit Malachit, oft nach b plattige, und nach der a-Achse gestreckte Kristalle auf. Sie zeichnen sich besonders durch große Reinheit und Klarheit aus und und können sehr flächenreich sein. Sie halten sich aber gewöhnlich unterhalb einer bestimmten Größe weniger Millimeter. Ihre Ausbildung ist durch die Abbildung 24 veranschaulicht.

5. Ein weiterer Teil der Cerussite, deren Individuen größere Ausmaße erreichen, wobei sowohl die Abplattung als auch die Streckung nachläßt, sodaß der einzelne Kristall isometrischer erscheint, kommt ebenfalls in Vergesellschaftung mit Malachit, auch mit Pyromorphit und Azurit vor. Die Abbildung 25 stellt ein Trachtbild dieser Kristalle dar. In gleicher Ausbildung, teilweise mit mehrere-Centimeter-großen Kristallen, kommt Cerussit auch auf Brauneisen aufgewachsen, ohne jede weitere Vergesellschaftung vor. Ihre Größe und Form spricht für ein ganz langsames Wachstum, ganz im Gegensatz zu den unter 1. ange-

führten Kristallen. Bei diesen war offenbar eine stärkere und raschere Materialanhäufung oder eine an Cerussitsubstanz reichere Lösung vor-

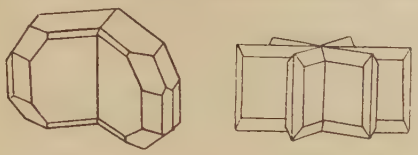


Abbildung 25 und 26. Ausbildungstypen des Cerussits.

handen, die es zu stark mit einander verwachsenen, dafür aber auch nur kleineren Kristallen kommen ließ. Bei den unter 5. genannten Stufen waren dagegen nur wenige, einzelne Kristalle vorhanden.

6. Ganz anderen Bildungsbedingungen scheinen die Kristalle zu entspringen, die als Bindemittel und in schmalen Klüften im Buntsandstein der Eifel vorkommen, wo sie nicht in unmittelbarer Verbindung mit dem Erz stehen, sondern offenbar als Lösungen anzusprechen und als charakteristische Neubildungen anzusehen sind.

Die Kristalle sind wasserklare, nach der a-Achse säulig ausgebildete Individuen, die nur eine geringe Länge weniger mm erreichen und oft sehr flächenreich sind. Sie eignen sich besonders gut zur genauen Vermessung, da die diamantglänzenden Flächen im Reflexgoniometer sehr gut einspiegeln.

7. Weiter wurden noch einige verschiedene Ausbildungsformen beobachtet, die jedoch keine selbständige Gruppe in dem bisherigen Sinne darstellen. In erster Linie sind dentritische Bildungen zu nennen, die sehr vollkommen die Ausbildung der vorgenannten Gruppe unter 1. zeigen. Ihre Hauptwachtumsrichtung ist die a-Achse, daneben sind sie noch nach der Fläche (010) stark abgeplattet. Sie finden sich in etwa gleicher Vergesellschaftung wie alle übrigen Bildungen.

Im Gegensatz zu dieser, offenbar sehr raschen Mineralsubstanzanhäufung waren auf einigen anderen Stufen in größerer Anzahl kleine Drillinge auf der gleichen Unterlage aufgewachsen. Sie zeigten im übrigen die gleiche Habitusausbildung wie die dentritisch weitergewachsenen Kristalle. Diese Ausbildung ist durch die Abbildung 26 gekennzeichnet.

Bei den Flächenuntersuchungen n i c h t erfaßt wurden natürlich die faserigen Aggregate, die manchmal allein, seidenglänzend, oft auch zwischen erdigem Brauneisen vorkommen.

8. Eine Sonderstellung nimmt aber die Ausbildungsform ein, die durch Zwillingsbildung den pseudohexagonalen Charakter möglichst vollkommen zeigt. Die Kristalle dieser Stufe zeigten durchweg, als Endkristalle auf einer dicken, derb erscheinenden Schicht von Cerussit, meist nur die pseudohexagonale Pyramide (111) und (021), manchmal, untergeordnet, auch das pseudohexagonale Prisma. Nur ganz zurücktretend kamen andere Flächenformen vor. Der Habitus eines solchen Kristalls wurde in einem früheren Abschnitt dieser Arbeit beschrieben.

b) Paragenetische Einordnung des Cerussits.

Im Vergleich mit der Bildungsreihe der Mineralien nach W. Maucher (10) konnte eine genaue Einordnung nicht vorgenommen werden, da der Cerussit als Verwitterungsmineral hydatogener Bildung nicht an eine bestimmte Reihenfolge gebunden ist.

Der hauptsächlichste Teil ordnet sich in die Kolloidphase ein. Nach den paragenetischen Befunden ist Cerussit dann neben oder nach Brauneisen einzuordnen, das den wichtigsten Vertreter der Huterze darstellt.

Weiter tritt der Cerussit in der Reihe derjenigen Huterze auf, die in der zweiten hydatogenen Kristallisationsphase zur Bildung kommen. Sie ordnen sich nach Maucher dort um den Quarz V an. Einige paragenetische Aufeinanderfolgen seien hier im einzelnen wiedergegeben, wobei nun die Unregelmäßigkeiten in der Bildung innerhalb der Huterze klar heraustreten. Die Abbildungen 27 stellen derartige Paragenesen aus verschiedenen Fundorten des Cerussits dar.

Mineral:	Bildungszeit:	
Brauneisen	———	
Malachit	———	
Cerussit	———	**Abbildung 27 a.**
Tracht:	**Fundort:**	
klare Kristalle, nach a, gestreckt, plattig nach b	Hamm.	
Quarzit	—	
Roteisenstein	—	
traubiger Malachit	———	
kristallis. Malachit	———	**Abbildung 27 b.**
Cerussit	———	
gleiche Ausbildung wie oben	Tsumeb	
Quarzitische Reste mit Brauneisen	———	
Chromhalt. Cerussit	———	
Krokoit	———	**Abbildung 27 c.**
klare, durchsichtige Kristalle, stark abgeplattet, leicht grünlich-gelb verfärbt.	Tasmanien.	
Bleiglanz	—	
Brauneisen	———	
körniger Cerussit	———	**Abbildung 27 d.**
auskrist. Cerussit	———	
weiße, pyramidale Kristalle	New Jersey.	

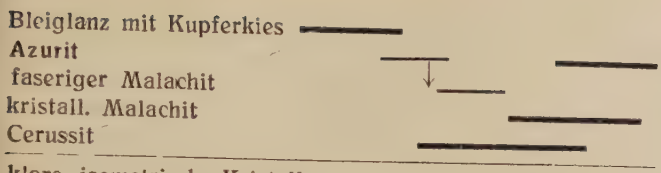


Abbildung 27 e.

klare, isometrische Kristalle Missouri

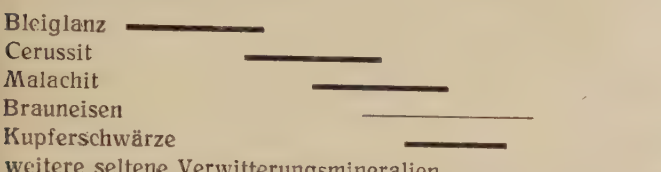


Abbildung 27 f.

nach [100] gestreckte, kl. Kriställchen Zellenfeld (Harz).

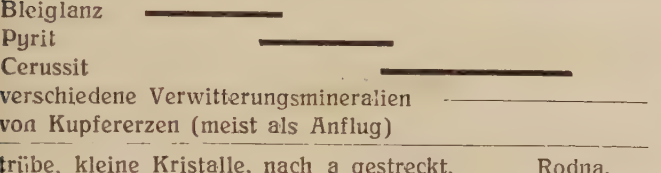


Abbildung 27 g.

trübe, kleine Kristalle, nach a gestreckt, Rodna,
enge Verwachsung mit anderen Mineralien (Siebenbürgen)

Habitutiell können wir nun folgende Typen unterscheiden:

a) Pseudohexagonale Zwillinge und Drillinge, nach c gestreckt,
b) Drillinge plattiger Kristalle, nach c gestreckt, mit rhombischem Querschnitt,
c) Ebensolche, nach a gestreckt, mit rechteckigem Längsschnitt,
d) Plattige Kristalle, nach c gestreckt, mit Malachit,
e) Nach a gestreckte und säulige Kristalle,
f) Isometrische Kristalle,
g) Faserige Kristalle, nach c und nach a.

Zum Teil läßt sich eine Zuordnung dieser Typen zu den paragenetischen Verschiedenheiten durchführen.

Die auf Bleiglanz oder in seiner unmittelbaren Nähe aufgewachsenen Kristalle sind meist nach c säulige, pseudohexagonale Drillinge von schmutzig-grauer Farbe. Sie sind einzeln, mehr oder weniger dicht nebeneinander, auf der Unterlage aufgewachsen.

Anders verhält es sich mit den Kristallen, die zwischen Brauneisen zur Bildung kamen. Sie sind oft miteinander verwachsen, indem sie schwammförmig einen Raum ausfüllen. Die Paragenese stimmt bei den nach c gestreckten Kristallen, sowie denen mit a als größter Ausdehnungsrichtung überein; doch kommen letztere Kristalle auch, zu kleinen Gruppen vereinigt, auf anderem Material aufgewachsen, in geringerer Größe vor. Die Kristalle, die in größerer Menge zwischen anderen, insbesondere

Kupfermineralien vorkommen, weisen eine Längserstreckung in Richtung der a-Achse auf.

Viel bessere Ausbildung zeigen natürlich die Kristalle, die einzeln, z. T. mit Malachit zusammen, auf Brauneisen oder anderem Material auftreten. Sie zeigen auch die Streckung nach der a-Achse, sind aber viel flächenreicher und mit klaren Flächen ausgestattet, ebenso wie die zwischen dem Sandstein auskristallisierten Cerussite. In manchen Drusen konnten Cerussitindividuen zu Kristallen von der Größe mehrerer Centimeter auswachsen. Sie sind an den freistehenden Seiten ziemlich gleichmäßig ausgebildet, weisen aber außer (111), (110), und (010) und einer Längsprismenform kaum eine weitere Flächenform auf.

Die auf Klüften in Brauneisenstein vorkommenden Kristalle, die nach der c-Achse gestreckt waren, zeigten meistens pseudohexagonale Verzwillingung; sie waren zum Teil stark zerflasert und ohne Kopfbild, in der Ausbildung, wie sie K. Obenauer (16) an vielen Aragoniten beschreibt. Sie weisen darauf hin, daß auch die häufig auftretenden faserigen Aggregate von Cerussit in ihrer Faserrichtung die c-Achse zeigen.

Der größte Flächenreichtum zeigte sich bei den Kristallen, die bei guter äußerer Ausbildung nach der a-Achse gestreckt waren. Dabei zeigte die Zone [100] die allermeisten Formen. Ihre Menge ging des öfteren in der Nähe stark hervortretender Flächen in Zonenriefung über. Auch die Zone [001] konnte zuweilen flächenreich auftreten, sowohl bei den nach a säuligen als auch bei den nach c gestreckten Kristallen.

Bei stärkerer Abplattung der Kristalle nach (010) ging ihre Zahl sehr zurück. Oft war außer (010) nur noch eine Form der Zone [001] vorhanden. Die nach a säuligen Kristalle zeigten oft ein gutes Kopfbild mit mehreren Formen (hkl).

Die Form (111) war fast immer vorhanden und gab dem Längsschnitt der Kristalle ihre typische Form.

Während von den Endflächen (010) stets groß vorhanden war, fehlte (100) oft oder war nur klein ausgebildet. (001) trat stets untergeordnet, oft als ganz schwache Kantenabstumpfung auf.

c) Einiges über Fundortspersistenzen.

Das zur Verfügung stehende Material war nicht für alle Fundorte so zahlreich, daß die vermessenen Kristalle zur Aufstellung einer Fundortspersistenz der Formen ausgereicht hätten. Während die Sammlung von vielen Stellen nur wenige vermessbare Kristalle enthielt, war von einigen anderen Fundorten eine umfangreichere Zahl von Stufen vorhanden, wie z. B. von Tsumeb und Friedrichsegen. Die Herausstellung der Beobachtungen an den Stufen dieser herausgegriffenen Fundorte läßt doch eine Abhängigkeit von Tracht und Habitus der Kristalle von ihrer paragenetischen Bildung erkennen.

Für eine bestimmte Kristallausbildung (Tracht) ist im allgemeinen auch eine bestimmte Flächenkombination als Grundtyp anzusprechen.

Die Erscheinung, daß ein Mineral je nach dem Vorkommen in verschiedener Ausbildung auftritt, ist bei vielen Mineralien untersucht worden. Doch nicht immer läßt sich eine Erklärung für diesen Trachtwechsel so weit festlegen, wie es etwa bei den drei Haupttypen des Kalifeldspates der Fall war. Während hier eine genaue Charakterisierung der Tracht als Tiefengesteins-, Ergußgesteins- und Kluftmineral möglich ist, ist das beim Cerussit als einem Verwitterungsmineral nicht der Fall. Da seine Bildung nur hydatogen ist, ist für ihn die Zusammensetzung der Lösung, durch deren Anwesenheit seine Bildung bedingt wurde, und auf die sich nachträglich aus den vergesellschafteten Mineralien schließen läßt, von größtem Einfluß.

Im Folgenden mögen nun die Bildungen der genannten beiden Fundorte, die infolge ihrer paragenetischen Verschiedenheit einen Vergleich zulassen, weiter herausgestellt werden.

Über die Erzlagerstätte von Tsumeb hat W. Maucher (11) eine eingehende Arbeit verfaßt. Darin kommt er nach Zusammenstellung der geographischen und Lagerungsverhältnisse sowie der Vorkommen der Erze, unter denen Bleiglanz an erster Stelle steht, wobei auch andere Erze häufig vertreten sind (Kupferglanz, Stibioluzonit, Zinkblende), auf die sekundären und tertiären Bildungen zu sprechen. Die Erze selbst befinden sich gangförmig in Dolomit; zum kleineren Teil besteht das Nebengestein auch aus Sandstein.

Unter den sukundären Erzen wird als älteste Bildung Anglesit genannt, aus dem durch weitere Umbildung Cerussit, teilweise auch Linarit und Caledonit (Pb-Ca-Mineralien) entstanden sind. Ziegelerz und Brauneisen kommen ebenfalls vor.

Unter den tertiären Bildungen ist der Cerussit das älteste Mineral und macht zusammen mit dem Malachit, das wichtigste Mineral aus. Die übrigen vorkommenden Mineralien sind selten und kommen häufig nur als Anflug, teils auch vereinzelt in spärlichen Kriställchen vor.

In kristallographischer Hinsicht liegen die Angaben von Z. v. Toborffy vor. In seiner Arbeit: „Über Kupferlasur und Weißbleierz von Tsumeb" stellt er neben verschiedenen paragenetischen Angaben, besonders im Vergleich mit dem beschriebenen Azurit, eine habituelle Typisierung der Cerussitkristalle dieses Vorkommens zusammen (21).

Eine allgemeine Zusammenstellung der Mineralien von Tsumeb gibt K. Biel (1) in seiner Dissertation. Sie bedeutet für die paragenetischen Studien an Cerussit nur eine Aufstellung der dort vorkommenden Mineralien.

Im Folgenden wird versucht, die wichtigsten paragenetischen Zusammenhänge, soweit sie bei Betrachtung der vorhandenen Stufen noch gut hervortrat, in trachtmäßiger und habitueller Hinsicht herauszustellen. Die Untersuchung geschah unter Benutzung einer Binocularlupe, mit 20-facher Vergrößerung, die das Übersichtsbild über das betreffende Stück nicht beeinträchtigte.

In den Abbildungen 28 sind in vier an Stufen von dem genannten Fundort beobachtbaren Paragenesen die Zusammenhänge des Cerussits mit den mitvorkommenden Mineralien dargestellt. Ihre Ausbildung wird an späterer Stelle besprochen werden.

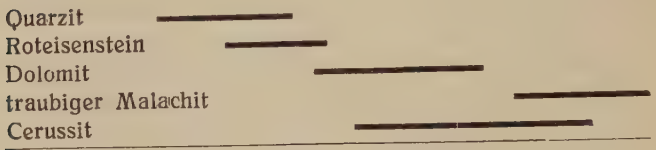


Abbildung 28 a.

dicke, isometrische Kristalle Tsumeb.

Abbildung 28 b.

isometrische, klare Kristalle Tsumeb.

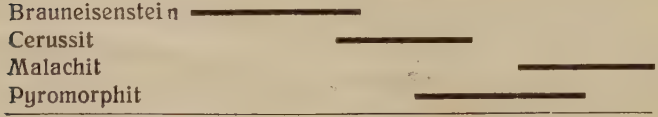


Abbildung 28 c.

Kristalle teilweise säulig nach a,
dick, isometrisch Tsumeb.

Eine weitere Literaturangabe über diese Lagerstätte, die der Vollständigkeit halber genannt sein möge, stellt O'Daniel (5) in der bezeichneten Arbeit zusammen.

Ganz anders als die Cerussitkristalle von Tsumeb, die in fast allen vorliegenden Stufen zusammen mit Malachit vorkamen, weisen sich diejenigen von der Grube Friedrichsegen auf. In der Paragenese herrscht Brauneisenstein vor, der auch am Bestande der Erzgänge einen großen Anteil nimmt. Eine Beschreibung dieses Vorkommens hat G. Seligmann (19) durchgeführt und die wichtigsten Mineralien dieses Fundortes aufgezählt. Paragenetische Zusammenhänge zwischen Cerussit und dem häufig auftretenden Pyromorphit sowie den in Friedrichsegen spärlich vertretenen Kupfermineralien ließen sich aus den vorliegenden Stufen selten erkennen, da fast nur auf Brauneisen aufgewachsene und mit solchem überzogene Kristalle vorlagen. Die folgenden beiden Abbildungen 29 geben zwei beobachtete Paragenesen von Cerussit dieses Vorkommens wieder.

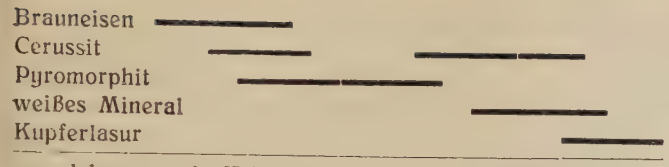


Abbildung 29 a.

pseudohexagonale Kristalle, gelblich-weiße Farbe — Friedrichsegen

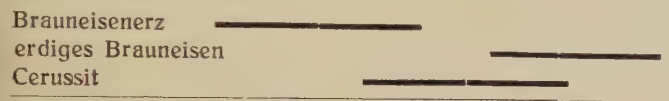


Abbildung 29 b.

häufigste Paragenese dieses Fundortes, klar durchsichtige Kristalle, stark abgeplattet nach b, meist Zwillingsgruppen. — Friedrichsegen

Dem Versuch einer Gegenüberstellung der Ergebnisse bezüglich der Tracht an den Cerussiten dieser beiden Fundorte sei eine kurze Zusammenstellung der persistentesten charakteristischen Formen in der Tabelle XVI beigefügt.

Tabelle XVI.

Persistenzwerte der Cerussitformen von Tsumeb und Friedrichsegen.

Nr.	Form	Tsumeb	Friedrichsegen
1	110	100	93
2	010	100	100
3	111	83	93
4	021	100	100
5	012	100	80
6	011	83	60
7	130	92	87
8	001	67	—
9	102	67	53
10	112	67	47
11	051	67	40
12	041	50	67
13	121	50	—
14	100	50	73
15	031	67	67

Diese Tabelle läßt jedoch die Eigenheiten der beiden Fundorte nur wenig heraustreten, da die hochpersistenten Formen an den Kristallen beider Fundorte gleichzeitig auftreten und sich die Kristalle besonders in ihrer Tracht unterscheiden. Diese Unterschiede würden sich vielleicht durch Nebeneinanderstellung der individuellen Formen in ihrer Gesamtheit der Beobachtung herausstellen. Hier kann nur überblicksmäßig gesagt werden, daß entsprechend der vorherrschenden Tracht der Kristalle für Tsumeb, wo ziemlich isometrische Individuen häufig sind, auch gern solche Flächenformen auftreten, die einer Abrundung dieser Kristalle dien-

lich sind. Besonders wurden einige seltene Vizinalen gerade an den Kristallen von Tsumeb beobachtet.

Die Kristalle von Friedrichsegen zeigten gern eine nach (010) plattige, oft nach 100 gestreckte Tracht, unter stark ausgeprägter Ausbildung der Fläche (111). Für diese Tracht spricht auch das Fehlen der Endfläche (001) unter den wichtigeren Formen.

Ein Vergleich der Formen und somit eine Herausstellung der wichtigsten habituellen Eigenschaften könnte noch etwas genauer dargelegt werden. Strukturelle Beziehungen, auf die sich die morphologischen Ergebnisse stützen könnten, waren jedoch nicht festzustellen.

Die bezeichneten Unterschiede scheinen fast ausschließlich durch die Paragenese bedingt zu sein, ebenso wie auch die Mineralien der Aragonitgruppe untereinander von gegenseitigem Einfluß sind.

Durch die Beziehungen dieses Abschnittes konnte gezeigt werden, wie sich die Tracht des Cerussits durch äußere Gründe ändern kann.

Für die Ausbildung der Kristalle und die Variationsmöglichkeit ihres Habitus bleibt stets der strukturelle Aufbau, der in früheren Abschnitten, auch im Zusammenhang mit der Morphologie, besprochen wurde, maßgebend. Die Tracht jedoch wird stark durch paragenetische Momente beeinflußt, indem der Cerussit besondere Ausbildungsformen bevorzugt, wenn er in Vergesellschaftung bestimmter Mineralien zur Bildung kommt.

V. ÜBERBLICK UND ZUSAMMENFASSUNG.

In Fortsetzung früherer Arbeiten (wie sie besonders von K. Chudoba und seinen Schülern durchgeführt wurden), welche die Morphologie eines Minerals auf strukturelle Grundlagen sowie paragenetische Einflüsse zurückführen, sollte die vorliegende Arbeit einen ergänzenden und umfassenden Beitrag für die Mineralien der Aragonitgruppe liefern. Die Untersuchungen erstreckten sich auf alle Mineralien dieser Gruppe der rhombischen Carbonate, wobei der Cerussit als das häufigste und formenreichste Mineral unter ihnen an erster Stelle der Betrachtungen stand.

1. Das erste Kapitel des Hauptteiles dieser Arbeit befaßt sich in der Hauptsache mit der Morphologie dieser Mineralien. Die am Cerussit, aber auch am Aragonit, Strontianit und Witherit vorgenommenen statistischen Berechnungen wurden zusammengestellt. Die Ergebnisse, die sich in der Hauptsache auf die im Goldschmidt'schen Atlas der Kristallformen zusammengetragenen Abbildungen sowie auf eigene Kristallmessungen stützten, ließen einen guten Vergleich und deutliche Übereinstimmung der untersuchten Mineralien erkennen. Sowohl Flächen- als auch Kantenpersistenzen fanden Berücksichtigung; ihrer Zusammenstellung wurde in mehreren Tabellen und Abbildungen Raum gegeben.

Die Formen (010), (110), (111) sowie eine Längsprismenform besaßen bei allen untersuchten Mineralien die höchsten Persistenzwerte, und waren

fast durchwegs trachtbeherrschend ausgebildet. Die Kantenpersistenzen wiesen entsprechende Übereinstimmungen auf. Beim Vergleich der Formenhäufigkeit zeigte sich für den Cerussit eine Kombination von sieben Formen als der am meisten auftretende Habitus. Für die übrigen Mineralien war diese Zahl etwas niedriger anzusetzen.

2. Zum Vergleich dieser tabellarisch erhaltenen Ergebnisse mit der Struktur kam in den nächsten Abschnitten das Aragonitgitter, dem auch das Gitter der übrigen angeführten Mineralien entspricht, zur Erörterung. Angaben zahlenmäßiger Konstanten sind dabei dem Strukturbericht entnommen worden. Der Vergleich der Morphologie mit den Ergebnissen strukturtheoretischer Überlegungen stützte sich in hervorragender Weise darauf, welche wichtigen Bindungen und Belastungen in den Gitterlinien, aber auch auf den Netzebenen, die in Ebenenserien geordnet sind, zu Tage treten. Eine Ordnung der Gitterlinien und der Ebenenserien nach der Dichte ihrer Besetzung und den Identitätsabständen sowie der Ebenenserienbelastung konnte erfolgen.

Der Vergleich der Wichtigkeit bestimmter Flächenformen und Kanten mit den entsprechenden Strukturelementen läßt jedoch eine Gleichheit in ihrer Reihenfolge nur unvollkommen in Erscheinung treten. Nur die wichtigsten Formen und Kanten entsprechen sich genau in der Reihenfolge ihrer Persistenzwerte sowohl in struktureller als auch morphologischer Hinsicht. Die weniger wichtigen Formen wichen von der jeweiligen Reihenfolge der Werte mehrfach stark ab.

Zum Teil dürfte der Grund dafür darin liegen, daß für abnehmende Identitätsabstände auch die Unterschiede in der Belastung der Gittergeraden und der Netzebenen geringer werden. Ein Unterschied in den Ergebnissen ist auch durch die verschiedenen Elemente im Gitter, die zu den verschiedenen Mineralien Cerussit, Aragonit, Strontianit und Witherit führen, verursacht, konnte aber in seinen Auswirkungen nicht vollkommen festgelegt werden.

Im Vergleich der Struktur, insbesondere des Ebenenserienaufbaues im Abstand identischer Ebenen, mit den Ergebnissen der morphologischen Untersuchung ließen sich verschiedene Parallelen ziehen. Von besonderer Wichtigkeit war die Feststellung, daß der pseudohexagonale Aufbau der Mineralien, sowohl der Einlinge, als auch der Zwillings- und Drillingsgruppen, sich aus der Struktur sehr gut ableiten läßt. Die beobachteten Zwillingsebenen der Cerussitkristalle (110) und (130) können als strukturell vorbedingt angesehen werden.

3. Da die morphologischen Beobachtungen sich nicht sämtlich mit strukturellen Erkenntnissen erklären ließen, wurden im dritten Hauptteil der Arbeit rein morphologische Besonderheiten sowie paragenetische Feststellungen auseinandergelegt.

Es zeigte sich, daß beim Cerussit durch geeignete Parallelverwachsung und Verzwillingung die Bildung isometrischer Gesamtgebilde angestrebt werden. Es treten dabei häufig einseitige Verzerrungen, welche die Ab-

schrägung an den Kristallaggregaten bedingen, und hochindizierte Flächenformen, durch welche einspringende Winkel abgeschwächt werden, auf. Die bevorzugte Bildung pseudohexagonaler Individuen wurde bereits in anderem Zusammenhang erwähnt.

Aus der Paragenese der einzelnen Stufen verschiedener Fundorte wird oft die Tracht der darin aufgewachsenen Cerussitkristalle stark beeinflußt. Für zwei Fundorte, Tsumeb und Friedrichsegen, wurden die Persistenzen der Formen aufgestellt. Es zeigten sich an den Stufen von Tsumeb, an denen Kupfermineralien in Paragenese vorherrschten, vorwiegend nach der Längsachse säulige Kriställchen. Die Kristalle von Friedrichsegen, die vorwiegend mit Brauneisen vergesellschaftet waren, wiesen häufig starke Abplattung nach der Längsfläche auf, ließen aber auch an anderen Stufen isometrische, pseudohexagonale Pyramiden zur Bildung kommen.

Für die Zusammenhänge zwischen Morphologie und Struktur ergaben sich ähnliche Verhältnisse, wie sie bereits in mehreren früheren Arbeiten, so für den Magnetit und für die Barytgruppe von Chudoba und Schilly (4 und 18) aufgestellt worden waren.

VI. SCHRIFTTUMVERZEICHNIS

1 Biel, K.: Mineralien von Tsumeb. Diss. N. Jb. f. Min. **22.** I. 317.
2 Chudoba, K.: Über Zwillingspersistenzen. Zs. Krist. **65.** 722—728.
3 — Zur morphologischen Typisierung der verschiedenen Kristalltrachten. Zentralbl f. Min. 1930. A. 334—338.
4 — und Schilly, W.: Die Morphologie des Magnetits in Abhängigkeit vom strukturellen Aufbau. N. Jb. f. Min. BBd. **68.** A. 1934. 241—267.
5 O'Daniel, H.: Ein neues Tarnowitzitvorkommen von Tsumeb-Otavi und die Frage der wechselseitigen isomorphen Vertretung von Ca und Pb. Zs. Krist. **74.** Heft 3/4 und **75.** Heft 5/6.
6 Ewald, P. und Hermann, C.: Strukturbericht 1913—1928. Zs. Krist.
7 Holzgang, F.: Zur Morphologie von Fluorit, Scheelit und Brookit. Schw. M. P. Mitt. **X.** 1930. 374.
8 Hubrecht, P. E.: Über Cerussitzwillinge von Sardinien. Zs. Krist. **40.** 147—153.
9 Kleber, W. und Schröder, R.: Über die morphologischen und strukturellen Verhältnisse von Kuprit. N. Jb. f. Min. **69.** BBd. A. Heft 3.
10 Maucher, W.: Die Bildungsreihe der Mineralien als Unterlage für die Einteilung
11 der Erzlagerstätten. Freiburg i. S. 1914. Verl. Craz u. Gerlach.
— Die Erzlagerstätte von Tsumeb im Otavibezirk im Norden Deutsch-Südwest-
12 afrikas. Zs. prakt Geol. **XVI.** 1908. 24—32.
Niggli, P.: Kristallisation und Morphologie des rhombischen Schwefels. Zs. Krist. **58.**
13 490—521. 1923.
— Geometrische Kristallographie des Diskontinuums. 1919. Gebr. Borntraeger,
14 Leipzig.
15 — Baugesetze kristalliner Materie. Zs. Krist. **63.** 1926. 49—121.
— Beziehungen zwischen Struktur und Morphologie am Quarz . Zs. Krist. **63,**
16 295—311.
Obenauer, K.: Über die Aragonite aus Drusenräumen niederrheinischer Basalte.
17 N. Jb. f. Min. BBd. **64.** A. 1931. 437—443.
Parker, R. L.: Die Kristallmorphologie im Lichte neuerer analytischer Untersu-
18 chungen. Fortschr. Min. **14.** 1931.
Schilly, W.: Zusammenhänge zwischen Struktur und Genesis bei Cölestin. N. Jb. f.
19 Min. BBd. **67.** A. 1933. 323—400.
Seligmann, G.: Beschreibung der auf der Grube Friedrichsegen vorkommenden
20 Mineralien. Verh. Nat. Hist. Ver. Rheinl. 1876. **33.** 244—257.
Stevanović, S. P.: Beiträge zur Mineralogie Serbiens. Ann. géol. de la péninsule
21 balkanique. **7,** 1. Belgrad. 1922. Ref. N. Jb. 1925. I. 511.
v. Toborffy, Z.: Über Kupferlasur und Weißbleierz von Tsumeb. Zs. Krist. 1913.
22 **52.** 235—237.
Tokody, L.: Kristallographische Monographie der ungarischen Cerussite. Zs. Krist.
23 **63.** 385—456. 1925.
Westhoff, F.: Untersuchungen über die Kristallstruktur der Glieder der Aragonitgruppe. N. Jb. f. Min. 1900. II. 14.

LEBENSLAUF.

Am 15. Februar 1912 wurde ich, Erich Rottenbach, Reichsdeutscher, evangelischer Konfession als Sohn des Prokuristen Rudolf Rottenbach und seiner Ehefrau Elly, geb. Wohlfahrth, in Oberlahnstein a. Rh. geboren. Ich besuchte dort die Vorschule und das Städtische Gymnasium, an dem ich Ostern 1930 die Reifeprüfung ablegte. Darauf wandte ich mich nach Bonn, um an der Universität Mathematik und Naturwissenschaften zu studieren.

Von S. S. 1930 bis W. S. 1934/35 war ich dort immatrikuliert. Seit S. S. 1933 gehöre ich der S. A. und dem N. S. D. St. B. an. Im Sommer 1934 nahm ich während insgesamt 11 Wochen an Kursen der Wehrsportlager in Bergneustadt, Burg a. d. W. und Lippstadt i. W. teil.

Nach meiner Rückkunft im W. S. 1934/35 begann ich im Mineralogisch-Petrographischen Institut der Universität Bonn unter der Anleitung von Herrn Prof. Dr. Chudoba die vorliegende Arbeit. Seit Juni 1935 bin ich an diesem Institut als wiss. Hilfskraft beschäftigt. Am 12. Februar 1937 bestand ich die mündliche Doktorprüfung mit der Note „Sehr gut" und trat am 15. Februar als Freiwilliger bei der Luftwaffe als Funker ein.